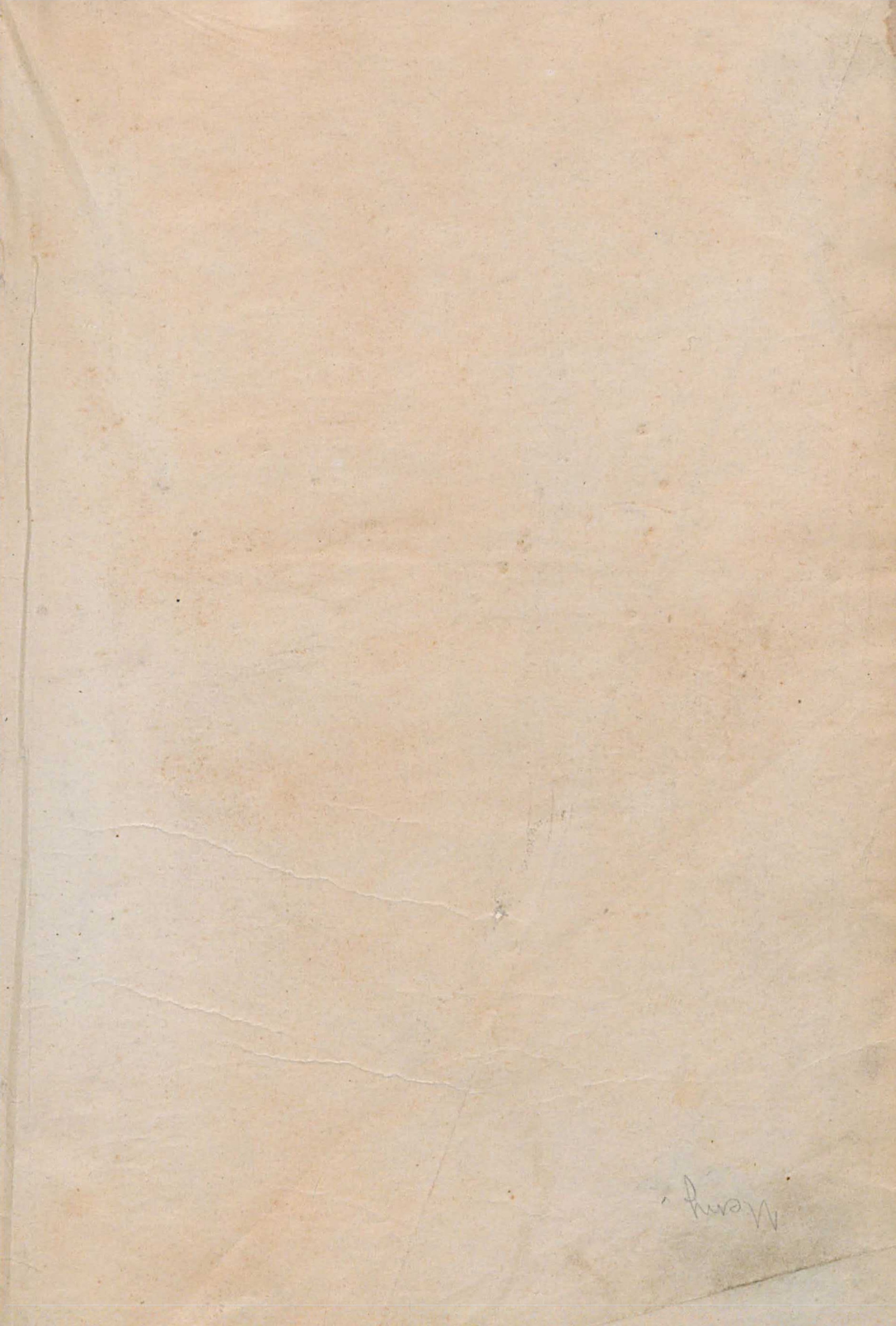




Фиг. 8. Kanalstrahlen („Закатодные“ лучи).

Фиг. 4. Цинковый купоросъ въ катодныхъ лучахъ.

Фиг. 6. Изображеніе монеты въ катодномъ свѣтѣ.

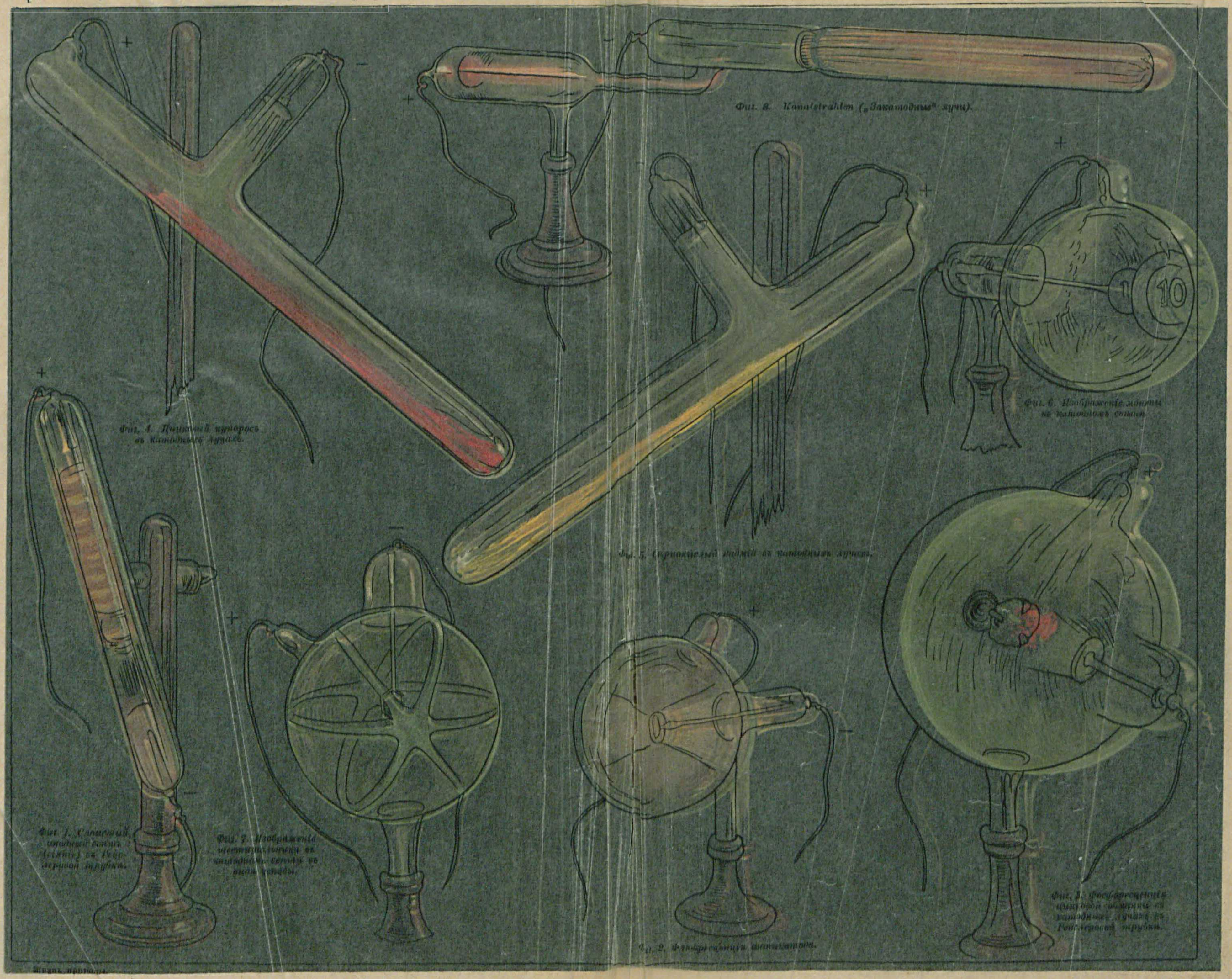
Фиг. 5. Сѣрнокислый кадмій въ катодныхъ лучахъ.

Фиг. 1. Слоистый анодный свѣтъ (сіяніе) въ Гейслеровой трубкѣ.

Фиг. 7. Изображеніе шестиугольника въ катодномъ свѣтѣ въ видѣ звѣзды.

Фиг. 2. Флюоресценція антикатода.

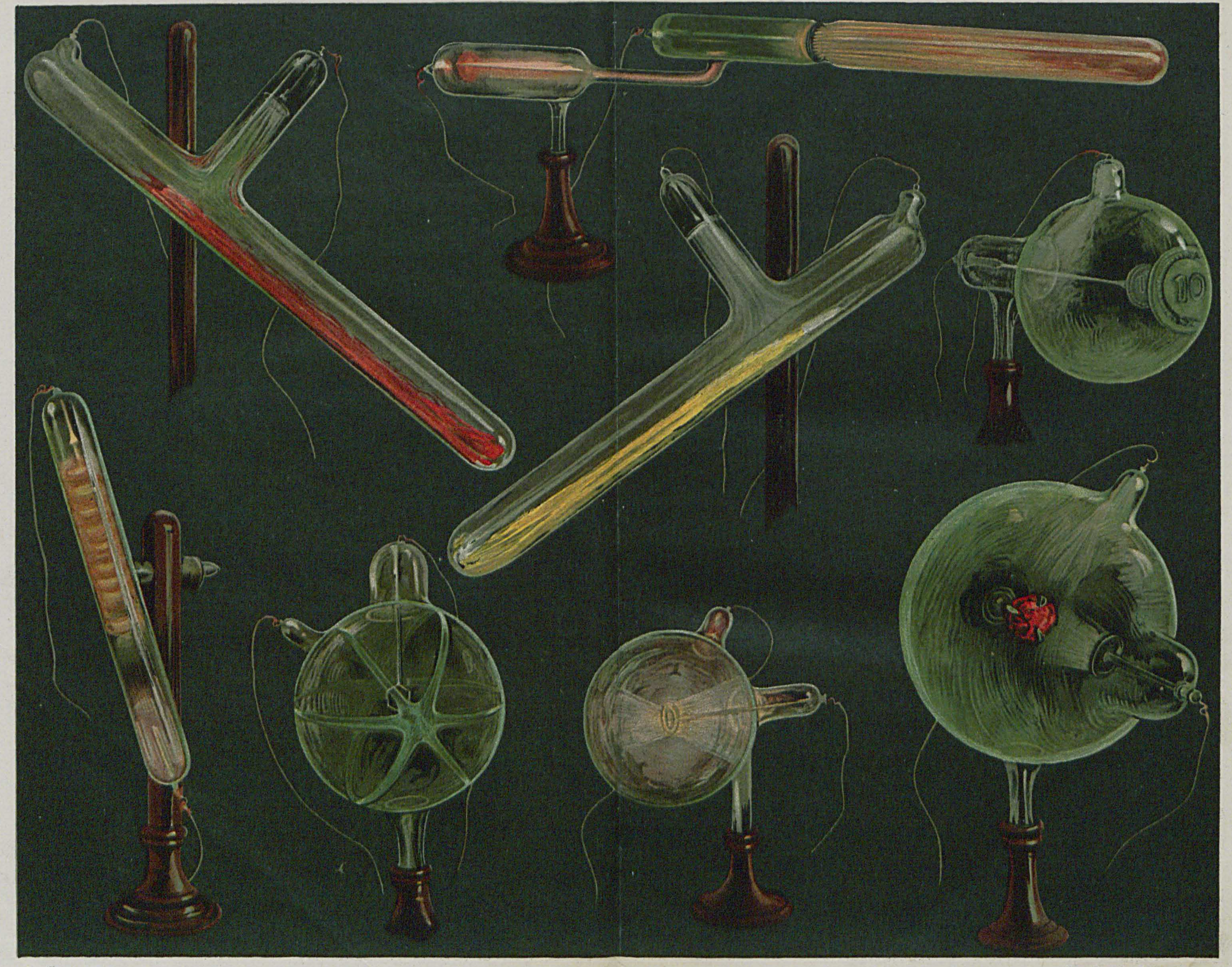
Фиг. 3. Фосфоресценція цинковой обманки въ катодныхъ лучахъ въ Гейслеровой трубкѣ.



Т-во „Просвѣщеніе" въ Спб.

Свѣтовыя явленія электрическаго разряда въ разрѣженныхъ газахъ.

(Гейслеровы и Гольдштейновскія трубки.)



Жизнь природы. Т-во „Просвѣщеніе" въ Спб.

Свѣтовыя явленія электрическаго разряда въ разрѣженныхъ газахъ.

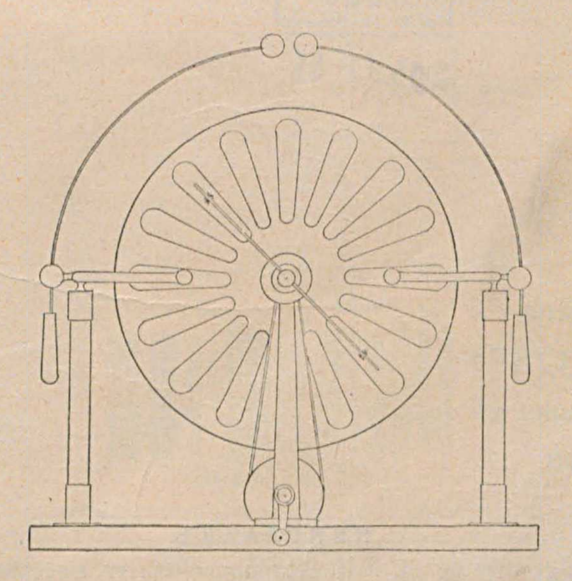
(Гейслеровы и Гольдштейновскія трубки.)

Инженеръ-Технологъ
В. В. Рюминъ,
заслуженный преподаватель техническаго училища.

УЧЕНІЕ
О МАГНИТИЗМѢ
И ЭЛЕКТРИЧЕСТВѢ
ВЪ ОБЩЕДОСТУПНОМЪ ИЗЛОЖЕНІИ.

Для самообразованія
и средней школы.

2-е
дополненное и исправленное изданіе,
съ 340 чертежами и рисунками въ текстѣ, 10-ю портретами и таблицей въ краскахъ.



Г. Николаевъ (Херс. губ.).

НИКОЛАЕВЪ.
Электрич. типо-литогр. бр. Л. и И. Бѣлолипскихъ, уг. Соборной и Спасской ул.
1913.

Ивану Степановичу

НЕКРАСОВУ

посвящаетъ эту книгу

автор.

Предисловіе ко второму изданію.

Первое изданіе этой книги, вышедшее въ 1908 г., было сочувственно встрѣчено критикой и читателями, изъ среды которыхъ я получилъ рядъ писемъ, давшихъ мнѣ смѣлость повторить изданіе въ надеждѣ, что и оно встрѣтитъ такой же добрый пріемъ. Для этого изданія я заново переработалъ всю книгу, исправилъ немалочисленные редакціонные дефекты перваго изданія, насколько они были мнѣ указаны критикой и замѣчены мною самимъ. По сравненію съ первымъ изданіемъ книга значительно дополнена, какъ текстомъ, такъ и рисунками. Въ особенности увеличено число задачъ и примѣровъ и, такъ сказать, усилена математическая сторона изложенія Однако я всюду пользуюсь лишь элементарной математикой и притомъ вывожу математическія доказательства въ особый шрифтъ, что даетъ возможность безъ вреда связности остального текста пользоваться книгой и лицамъ, незнакомымъ съ началами математики.

При составленіи книги я пользовался въ большей или меньшей степени всѣми подходящими къ ея задачамъ трудами по электричеству, вышедшими за послѣдніе 10—12 лѣтъ на русскомъ и нѣмецкомъ языкахъ, а также статьями и замѣтками текущей періодической литературы, но главнымъ образомъ слѣдующими источниками:

Проф. И. И. Боргманъ. Магнитный потокъ и его дѣйствія.
Проф. О. Д. Хвольсонъ. Курсъ физики.
Проф. Н. А. Гезехусъ. Основы электричества и магнитизма.
Инженеръ И. Н. Водопьяновъ. Радіоактивныя вещества.
Докторъ Штарке. Опытное ученіе объ электричествѣ.
В. К. Лебединскій. Электричество и магнитизмъ.
Проф. Г. Лоренцъ. Курсъ физики.
Prof. I. Kleiber und B. Karsten. Lehrbuch der Physik zum besonderen Gebrauch in Technische Lehranstalten sowie zum Selbstsudium.

A. Lanner. Naturlehre.

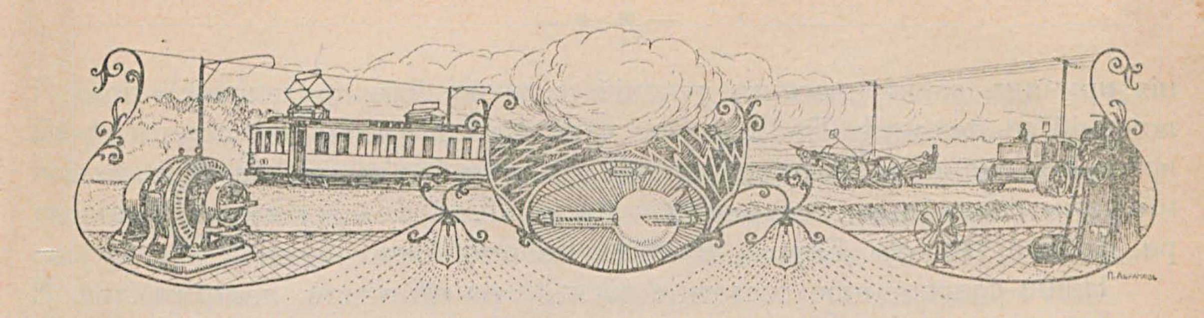
H. v. Gasteiger. Lehrbuch der Electrotechnik.

G. Mie. Lehrbuch der Electrotechnik und Magnetismus.

W. Ostwald. Die Electrochemie, ihre Geschichte und Lehre.

Корректуру изданія любезно взялъ на себя инженеръ Л. В. Коленко, которому, а равно и другимъ лицамъ, такъ или иначе оказавшимъ мнѣ помощь при составленіи книги, приношу свою глубокую благодарность.

Составитель.



Введеніе.

Изъ всѣхъ отраслей „науки о природѣ" едва ли не наибольшій интересъ представляетъ ученіе объ электричествѣ и магнитизмѣ. Причинами такого интереса являются: 1) сравнительно недавнее ознакомленіе человѣчества со многими ихъ проявленіями, 2) тѣ важныя техническія примѣненія, которыя человѣческая изобрѣтательность дала имъ въ различныхъ областяхъ практики.

Знакомство человѣчества съ магнитизмомъ и электричествомъ начавшись въ глубокой древности, долгое время ограничивалось узкими предѣлами. Только начиная съ прошлаго вѣка оно сдѣлало крупные успѣхи и не перестающее его развитіе даетъ поводъ думать, что текущій XX вѣкъ будетъ по преимуществу „вѣкомъ электричества", какъ истекшій былъ „вѣкомъ паровыхъ машинъ".

Геніальнѣйшимъ изъ электриковъ долженъ быть признанъ Михаилъ Фарадей, жившій съ 1791 по 1867 г. Въ своихъ воззрѣніяхъ на причины электрическихъ явленій онъ на много лѣтъ опередилъ своихъ современниковъ. Истолкователемъ этихъ воззрѣній, давшимъ математическое обоснованіе связи между свѣтомъ и электричествомъ, былъ Клеркъ Максуэль (1865 г.). Подвердить же ихъ опытнымъ путемъ и сдѣлать осязаемой указанную связь удалось лишь въ 1888 году безвременно умершему Генриху Герцу (1857—1895).



Михаилъ Фарадей.

Эта тріада именъ далеко не исчерпываетъ перечень выдающихся работниковъ въ области выясне-

нія причинъ электрическихъ явленій, а также ихъ проявленій и приложеній въ техникѣ. Благодарное человѣчество увѣнчало память нѣкоторыхъ великихъ изслѣдователей указанной области, назвавъ ихъ именами различныя электрическія постоянныя. Таковы имена: Ампера, Вебера, Вольты, Гаусса, Джоуля, Кулона, Ома.

Наше современное состояніе взгляда на сущность электричества, современная степень ознакомленія съ его проявленіями и техническое использованіе этихъ проявленій—результаты труда не только отдѣльныхъ великихъ умовъ, но и цѣлой плеяды менѣе замѣтныхъ тружениковъ.



М. В. Ломоносовъ.

Среди тѣхъ и другихъ мы можемъ отмѣтить не мало именъ нашихъ соотечественниковъ.

Всеобъемлющій геній М. В. Ломоносова задолго до Фарадея провидѣлъ близость свѣтовыхъ и электрическихъ явленій (1753 г.),

Г. В. Рихманъ палъ первой жертвой изученія электричества, В. В. Петровъ за нѣсколько лѣтъ до Дэви наблюдалъ образованіе вольтовой дуги, Б. С. Якоби первый открылъ гальваническое осажденіе металловъ. Въ разработкѣ техническихъ приложеній электричества важныя услуги оказали человѣчеству: П. Н. Яблочковъ, А. Н. Ладыгинъ, В. Н. Чиколевъ, М. О. Доливо-Добровольскій, П. Л. Шиллингъ фонъ-Канштадтъ и въ недавнее время такъ обидно несвоевременно похищенный смертью А. С. Поповъ и мн. др., съ именами которыхъ мы еще встрѣтимся въ дальнѣйшемъ изложеніи нашего курса.

Въ изложеніи этомъ мы будемъ по возможности держаться исторической послѣдовательности, [1]) въ которой человѣчество знакомилось съ описываемыми явленіями.

Предполагая, что читатель обладаетъ элементарнымъ знакомствомъ съ современными взглядами на вещество [2]) и энергію [3]), упомянемъ теперь же, что по отношенію къ электричеству дольше всего держалась нѣкогда общая гипотеза невѣсомыхъ жидкостей, въ которыхъ видѣли причину тепловыхъ, свѣтовыхъ и электрическихъ явленій.

Еще въ первой половинѣ XIX вѣка трактовали объ одной (унитарная) и двухъ (дуалистическая гипотеза) электрическихъ жидкостяхъ.

Только послѣ того, какъ рядъ новыхъ явленій, ставъ извѣстнымъ, не могъ быть объясненъ гипотезами электрическихъ жидкостей, только послѣ того, какъ тепловыя явленія стали разсматриваться, какъ движеніе молекулъ матеріи, а свѣтъ, какъ движеніе въ эфирѣ [4]), такія слова, какъ „количество электричества", „электроемкость" и проч., утратили свой матеріальный смыслъ и стали символами отвлеченныхъ понятій. Переходъ электрической энергіи въ другіе виды энергіи заставилъ подозрѣвать, что и электричество, подоб-

---

[1]) Что заставило выдѣлить часть текста въ особое дополненіе въ концѣ книги, назначенное для прочтенія лишь по ознакомленіи съ основной частью курса и являющееся какъ бы вторымъ концентромъ.

[2]) Т. е. знаетъ, что матерія неуничтожаема и состоитъ изъ отдѣльныхъ молекулъ, слагающихся изъ атомовъ.

[3]) Что энергія не можетъ быть создана или уничтожена, а можетъ быть лишь преобразована изъ одного вида въ другой, съ сохраненіемъ опредѣленной эквивалентности при такомъ переходѣ.

[4]) Гипотетическая среда, заполняющая міровое междупланетное и междуатомное пространство. По общепринятому въ настоящее время взгляду является средой, „передающей дѣйствіе на разстояніе" въ тѣхъ случаяхъ, когда видимая матеріальная среда отсутствуетъ. *Д. И. Менделѣевъ* высказалъ въ 1902 г. предположеніе, что эфиръ есть простѣйшій элементъ группы аргона (нулевого ряда и періода менделѣевской таблицы элементовъ).

но свѣту, есть не что иное, какъ движенiе. Оставалось рѣшить вопросъ: какое движенiе?

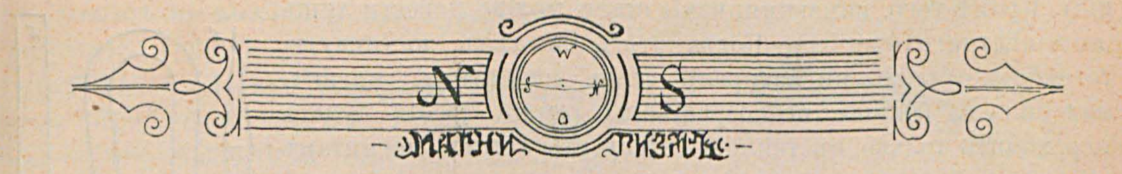
Въ концѣ нашей книги мы увидимъ, что сущностью электрическихъ явленiй служитъ волнообразное движенiе эфира, аналогичное тому движенiю, которое нами воспринимается, какъ свѣтъ. Къ сожалѣнiю, донынѣ остается далеко не рѣшеннымъ кардинальный вопросъ: „что-же именно вызываетъ указанное движенiе эфира?“. Элементарность изложенiя нашего курса позволяетъ намъ въ концѣ нашей книги лишь вкратцѣ освѣтить существующiя гипотезы *), пока еще только пытающiяся рѣшить эту важную задачу естествознанiя.

---

*) Мы съ умышленной осторожностью воздержимся класть какую-либо изъ гипотезъ въ основу изложенiя матерiала, подлежащаго нашему изученiю. Въ популярной книгѣ, написанной для лицъ, совершенно незнакомыхъ съ ученiемъ о магнитизмѣ и электричествѣ или освѣдомленныхъ съ нимъ лишь по самымъ элементарнымъ курсамъ, на нашъ взглядъ преждевременно базировать этотъ интереснѣйшiй отдѣлъ физики на понятiи объ электронѣ. Составитель книги, высоко цѣня прекрасные курсы Г. Ми, Г. Лоренца и др. ученыхъ, строящихъ свои курсы на новѣйшихъ воззрѣнiяхъ, однако не считаетъ рацiональнымъ слѣдовать ихъ примѣру. Въ основу содержанiя этой книги положены лишь наблюдаемые нами факты, что же касается гипотезъ, то о нихъ мы узнаемъ изъ нея лишь постольку, поскольку это необходимо для связи отдѣльныхъ фактовъ въ одно общее цѣлое. Говорить, что: „твердо установилась электронная теорiя, разсматривающая электричество, какъ особаго рода вещество, обладающее атомнымъ строенiемъ“, не значитъ ли смѣшивать слѣдствiе съ причиной? Тогда остается только признать мифическiе „анодiй“ и „катодiй“, придуманные ученымъ-поэтомъ Морозовымъ, и вернуться къ Ньютону и его гипотезѣ истеченiя.

Часть I.

МАГНИТИЗМЪ.



I. Свойства магнита.

§ 1. Естественный магнитъ. Еще во времена глубокой древности китайцамъ, а позже народамъ Средиземнаго моря была извѣстна желѣзная руда, обладающая способностью притягивать желѣзные и стальные предметы.

Отъ имени города *Магнезіи*, служившаго пунктомъ торговли финикійцевъ съ народами далекаго сѣвера, минералъ получилъ названіе *магнита*. Китайцы называли эту руду „ни-ти-чи", т. е.—камень, притягивающій желѣзо. Въ настоящее время мы называемъ *естественнымъ магнитомъ* куски желѣзной руды *магнитнаго желѣзняка* Fe_3O_4, состоящаго изъ желѣза и кислорода, проявляющіе указанную особенность.

Магнитный желѣзнякъ въ значительномъ количествѣ находится у насъ на Уралѣ (горы: Благодать, Высокая у Нижне-Тагильска), въ Швеціи (Арендаль и Данемора) и др. странахъ.

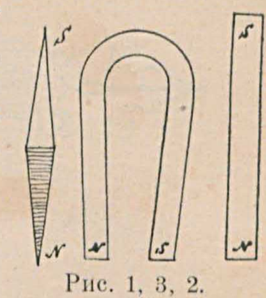
Степень магнитизма сплошныхъ массъ и отдѣльныхъ кусковъ руды различна и, какъ увидимъ далѣе, не является свойствомъ, присущимъ химическому составу ея, а пріобрѣтеннымъ въ теченіе времени.

До тѣхъ поръ, пока не научились приготовлять искусственные магниты, пользовались естественными, но, такъ какъ притяженіе, ими оказываемое, слабѣе, чѣмъ у искусственныхъ, то они теперь имѣютъ лишь историческій интересъ.

Эта же слабость ихъ дѣйствія разрушаетъ нѣкогда популярную легенду о магнитныхъ горахъ, притягивающихъ корабли и т. п.

§ 2. Искусственный магнитъ. Естественный магнитъ притягиваетъ желѣзо и сталь. Послѣ того какъ отнять ихъ отъ магнита, желѣзо не пріобрѣтаетъ никакихъ новыхъ свойствъ, сталь же сама становится магнитной. Въ 1589 году неаполитанецъ *Порта* (1538—1615 г.) показалъ, что сталь лучше намагничивается треніемъ ея помощью магнита, чѣмъ простымъ прикосновеніемъ. Потремъ лезвіе перочиннаго ножа о магнитъ и мы увидимъ, что оно станетъ притягивать мелкія желѣзныя и стальныя издѣлія. Сила самаго магнита видимо не уменьшается послѣ намагничиванія имъ другихъ предметовъ. Значитъ, магнитизмъ не переходитъ изъ магнита на намагничиваемое тѣло, а является, согласно закону сохраненія энергіи и перехода ея изъ одного вида въ другой, результатомъ механической работы (преодолѣнія магнитнаго притяженія, тре-

нія). Кромѣ того, намагничиваніе стали можно довести лишь до извѣстнаго предѣла. Когда этотъ предѣлъ достигнутъ, то сколько бы мы ни натирали сталь магнитомъ, магнитная сила ея больше не возрастаетъ: работа тренія будетъ переходить только въ теплоту. Искусственнымъ магнитамъ придаютъ формы стрѣлки (рис. 1), бруска (рис. 2), подковы (рис. 3).



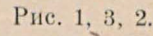
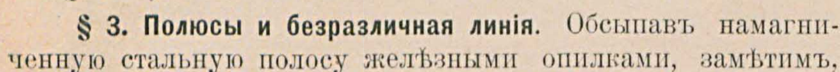


Рис. 1, 3, 2.



§ 3. Полюсы и безразличная линія. Обсыпавъ намагниченную стальную полосу желѣзными опилками, замѣтимъ, что опилки не одинаково пристанутъ по всей ея поверхности. Гуще всего расположатся у концовъ полосы, посрединѣ же ихъ вовсе не будетъ. Присматриваясь къ направленію опилокъ, увидимъ, что онѣ какъ бы стремятся проникнуть внутрь магнита, стягиваясь къ двумъ точкамъ, расположеннымъ приблизительно на $^1/_6$ половины длины магнита отъ его концовъ. Эти идеальныя точки пересѣченія направленій, занятыхъ опилками, носятъ названіе *полюсовъ* магнита.

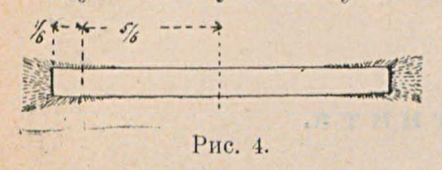


Рис. 4.

Линія, дѣлящая магнитъ пополамъ, называется *безразличной* линіей. Линія, соединяющая полюсы, будетъ *осью* магнита.

§ 4. Различіе полюсовъ. Еще въ 2635 г. до Р. Х. китайцы, а съ XIV вѣка и европейцы, знали, что, если укрѣпить магнитную полоску на пробкѣ и пустить ее плавать, она всегда займетъ опредѣленное положеніе, указывая однимъ (и всегда однимъ и тѣмъ же) концомъ на сѣверъ, а другимъ на югъ. Дѣйствительно, намагнитивъ стальную иглу и положивъ ее внутрь соломинки, увидимъ, что, какое бы начальное положеніе ни дать ей на поверхности воды, она повернется такъ, какъ сказано. Китайцы ставили на своихъ повозкахъ вращающуюся фигурку, указывавшую рукой на югъ. Мореплаватели, помѣщая уравновѣшенную на шпенькѣ стрѣлку въ центрѣ т. н. „розы вѣтровъ“, пользуются ею для опредѣленія направленія въ открытомъ морѣ.

Такой инструментъ, названный *компасомъ*, въ Европѣ впервые былъ примѣненъ въ 1300 г. итальянцемъ *Флавіо Гоіа* (или Джойа), хотя возможно, что онъ былъ извѣстенъ и раньше, такъ какъ о подобномъ приборѣ упоминается въ одномъ сочиненіи, написанномъ еще въ 1190 году. Конецъ стрѣлки, указывающій на сѣверъ, обыкновенно закаливаютъ въ голубой цвѣтъ, оставляя противоположный сѣрымъ.

Полюсъ, находящійся на сѣверномъ концѣ свободно вращающагося магнита, называютъ *сѣвернымъ*, противоположный—*южнымъ*.

Чтобы уничтожить вліяніе качки на компасъ, его укрѣпляютъ въ *подвѣсѣ Кардана*, состоящемъ изъ двухъ колецъ, вращающихся во взаимно-перпендикулярныхъ плоскостяхъ. Если корабль клонить на бокъ, съ нимъ клонится наружное кольцо, а внутреннее и компасъ остаются горизонтальными. При килевой (продольной) качкѣ оба коль-

Рис. 5.

ца и компасъ не выходятъ изъ горизонтальнаго положенія (рис. 5—6).

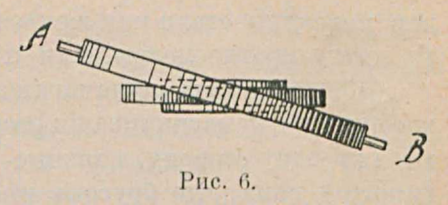
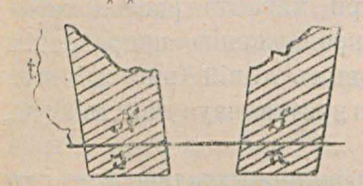


Рис. 6.

§ 5. Законъ взаимодѣйствія магнитныхъ полюсовъ. Приближая другъ къ другу свободно вращающіяся магнитныя стрѣлки, мы замѣчаемъ, что одноименные концы ихъ отталкиваются, а разноименные притягиваются другъ къ другу. Сосредотачивая мысленно силу этого взаимодѣйствія въ полюсахъ, можно формулировать подмѣченный законъ словами: *разноименные полюсы притягиваются, одноименные отталкиваются.* Фактъ этотъ былъ извѣстенъ еще древнимъ египтянамъ и упоминается въ сочиненіяхъ *Лукреція* и *Плутарха.*

Раздѣляя стрѣлки различными преградами, замѣтимъ, что послѣднія проницаемы для этихъ силъ притяженія и отталкиванія. Помѣщая магниты подъ колоколъ воздушнаго насоса и выкачивая изъ него воздухъ, убѣждаемся, что магнитная энергія, подобно свѣту, не нуждается въ матеріальной средѣ для своего распространенія. И въ безвоздушномъ пространствѣ стрѣлки сохраняютъ полярное направленіе и дѣйствуютъ другъ на друга.

Эффектнымъ опытомъ для подтвержденія отталкиванія одноименныхъ полюсовъ является опытъ съ иглой, свободно плавающей въ воздухѣ. Положивъ, какъ показано на рис. 7, обыкновенную швейную иглу на концы подковообразнаго магнита, намагнитимъ ее чрезъ прикосновеніе. При этомъ полярность иглы будетъ обратной полярности магнита (объясненіе ниже). Подымая иглу за нить *t*, продернутую въ ея ушко и установивъ ее надъ полюсомъ *S* вертикально, ведемъ надъ магнитомъ по направленію къ *N*. По мѣрѣ приближенія къ сѣверному полюсу остріе *n* иглы отклоняется и, наконецъ, она располагается надъ *N* горизонтально: летаетъ въ воздухѣ.


Рис 7.

II. Строеніе магнита.

§ 1. Дѣленіе магнита на части. Намагнитимъ вязальную иглу и переломимъ ее по линіи безразличія. Что произойдетъ съ полюсами? Будетъ ли каждая половина имѣть только одинъ полюсъ? Поднося къ магнитной стрѣлкѣ мѣсто перелома сѣверной половины иглы, убѣждаемся, что она, какъ и вся игла, снова имѣетъ оба полюса, при чемъ южный находится вблизи мѣста перелома. Южная половина, оказывается, также имѣетъ оба полюса, при чемъ у перелома находится сѣверный полюсъ. Обѣ половины магнита стали цѣлыми магнитами. Сложивъ обѣ половины по излому, убѣждаемся, что оба магнита опять превращаются въ одинъ. Разламывая половины по серединѣ, получимъ 4 магнита и т. (рис. 8).

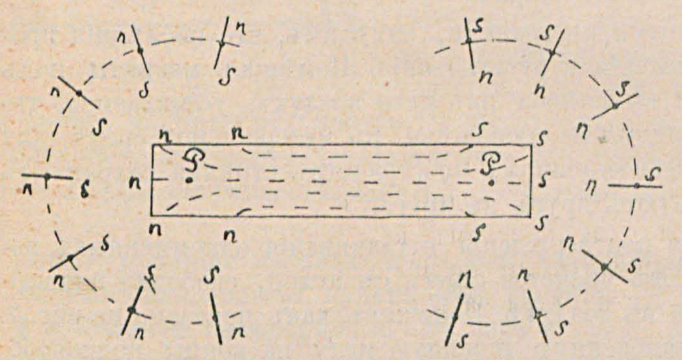
Рис. 8.

Ничто не мѣшаетъ намъ предположить, что, какъ бы далеко мы ни продолжали дѣленіе, всегда каждая часть окажется отдѣльнымъ магнитомъ. Для объясненія многихъ магнитныхъ явленій поэтому является удобнымъ предположеніе *Р. Кирвана* (1793), развитое въ 1821 г. *Веберомъ* и *Ампероомъ*, что

всѣ молекулы стали или желѣза суть молекулярные магниты, обращенные другъ къ другу противоположными полюсами.

Когда металлъ не намагниченъ, его молекулы образуютъ замкнутыя цѣпи, которыя при намагничиванiи распадаются такъ, что всѣ сѣверные полюсы направляются въ одну сторону, а южные—въ противоположную. Опытъ подтверждаетъ эту гипотезу тѣмъ, что брусокъ нѣсколько удлиняется, будучи намагниченъ *).

§ 2. Силовыя линiи магнита. Положивъ на прямой магнитъ листъ бумаги и осыпавъ послѣднiй желѣзными опилками, легкими потряхиванiями листа даютъ возможность опилкамъ расположиться по опредѣленнымъ направленiямъ. Опилки, соединяясь концами другъ съ другомъ, образуютъ рядъ кривыхъ, сходящихся въ полюсахъ магнита. Линiи эти соотвѣтствуютъ *направленiю силовыхъ линiй магнита.* Пространство, въ которомъ можно обнаружить дѣйствiе магнита и въ которомъ проходятъ силовыя линiи, называется *магнитнымъ полемъ.* Можно предположить, что молекулярные магниты внутри магнита расположены по продолженiю направленiй силовыхъ линiй (рис. 9), взаимно нейтрализуя дѣйствiе своихъ полюсовъ въ каждомъ пунктѣ внутри магнита.


Рис. 9.

Точки приложенiя равнодѣйствующихъ силъ молекулярныхъ полюсовъ, въ которыхъ сходятся направленiя силовыхъ линiй, образуютъ полюсы магнита. Расположимъ нѣсколько маленькихъ магнитныхъ стрѣлокъ вокругъ концовъ магнита. Подъ влiянiемъ притяженiя ихъ молекулярными магнитами *ns*, *ns*, *ns*..., онѣ направятся своими концами къ точкамъ P и P, въ которыхъ какъ бы сосредоточено дѣйствiе всѣхъ молекулярныхъ магнитовъ.

Представленiе о полюсахъ магнита можно сравнить съ представленiемъ о центрѣ тяжести всякаго физическаго тѣла. Центръ тяжести также является лишь точкой приложенiя равнодѣйствующей силъ, дѣйствующихъ на каждую отдѣльную молекулу, входящую въ составъ даннаго физическаго тѣла. Такимъ образомъ полюсы будутъ лишь воображаемыми точками.

§ 3. Способы намагничиванiя. Для намагничиванiя берутъ твердые сорта стали (ферромангaнъ, вольфрамовую и т. п.). Намагничиваютъ: 1) проводя однимъ и тѣмъ же полюсомъ во всю длину бруска только по одному направленiю; 2) проводя отъ средней линiи въ одну сторону N полюсомъ, а въ другую S полюсомъ; 3) намагничиваемые куски располагаютъ замкнутой цѣпью и, не снимая магнита, водятъ однимъ его полюсомъ по всей цѣпи; 4) окруживъ магнитъ проводникомъ электрическаго тока. Объясненiе послѣдняго способа, дающаго наиболѣе сильные магниты, будетъ приведено ниже. *Жаменъ* въ 1863 г. замѣтилъ, что при травленiи стального

Рис. 10.

*) См. дополн. въ концѣ книги.

магнита кислотой послѣдній теряетъ магнитныя свойства, послѣ того какъ кислота сниметъ поверхностный слой въ 0,1 мм. Слѣдовательно, только верхній слой магнита обладаетъ магнитными свойствами и удѣльный магнитизмъ *) возрастаетъ съ возрастаніемъ отношенія поверхности магнита къ его массѣ. Отсюда вытекаетъ болѣе сильное дѣйствіе магнитнаго магазина (рис. 10), собраннаго изъ отдѣльныхъ полосъ, сравнительно съ равнымъ ему по размѣрамъ обыкновеннымъ магнитомъ. Магнитъ считается хорошо намагниченнымъ, если онъ удерживаетъ равный ему по вѣсу якорь.

§ 4. Магнитное кольцо. Намагничивая стальное кольцо такъ, чтобы силовыя линіи его представляли замкнутыя окружности, мы ничѣмъ не обнаружимъ его магнитнаго состоянія: всѣ молекулярные магниты, располагаясь замкнутой цѣпью, будутъ взаимно нейтрализовать противоположные полюсы одинъ у другого. Если же распилить кольцо въ любомъ мѣстѣ, то появляются оба полюса N и S у мѣста распила (рис 11). Для такого намагничиванія надо по тонкому кольцу водить однимъ полюсомъ магнита все время въ одномъ и томъ же круговомъ направленіи. Если же намагнитить кольцо, прикасаясь къ противолежащимъ точкамъ его діаметра разноименными полюсами сильнаго магнита, то полюсы въ кольцѣ получатся вблизи этихъ точекъ. Силовыя линіи такого кольцевого магнита расположатся, какъ показано на рис. 12.

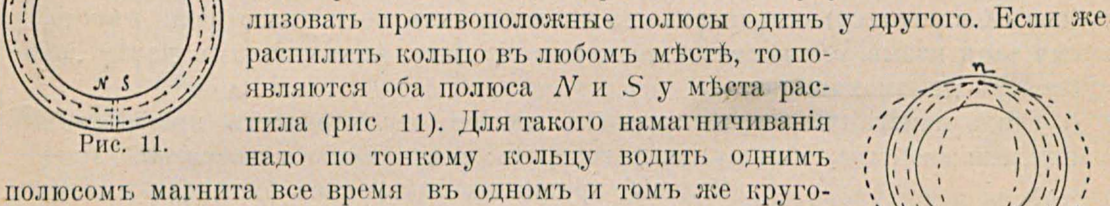


Рис. 11.

Рис. 12.

§ 5. Размагничиваніе. Положивъ стальную полоску на концы магнитовъ N и S и натирая ее двумя магнитами, какъ показано на рис. 13 (способъ *Дюгамеля*), возбуждаемъ въ ней магнитизмъ противоположной полярности, т. е. южный въ части, лежащей у N, и сѣверный у S. Если теперь намагниченную полоску переложить концами наоборотъ, то, продолжая водить, какъ и раньше, магнитами N и S отъ середины къ концамъ, заставимъ потерять ея магнитность,—*размагнитимъ*.

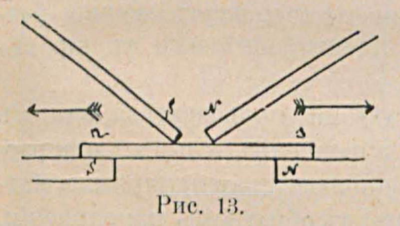


Рис. 13.

Продолжительная тряска магнита и нагрѣваніе его ведетъ къ тому же явленію: частью или совершенно онъ теряетъ свои свойства. Такъ, желѣзо при 760° размагничивается. (См. гл. IV, § 5).

III. Магнитная индукція.

§ 1. Намагничиваніе желѣза и стали введеніемъ ихъ въ магнитное поле. Если въ магнитное поле достаточно сильнаго магнита ввести желѣзный или стальной предметъ, то въ немъ, въ свою очередь, возбуждается магнитизмъ и обнаруживается присутствіе сѣвернаго и южнаго полюсовъ (рис. 14). Полюсъ, возбужденный въ ближайшемъ концѣ индуктированнаго магнита, будетъ

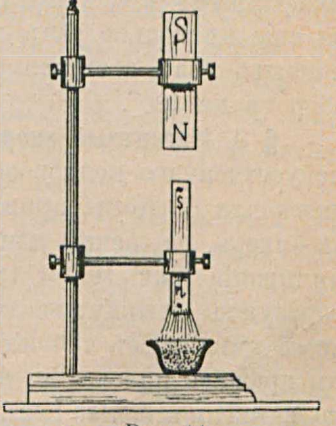


Рис. 14.

*) См. ниже гл. IV, § 4.

разноименный, а въ противоположномъ концѣ одноименный. На рис. 14 изображенъ сильный магнитъ, обращенный внизъ своимъ N полюсомъ. Помѣщенный подъ магнитомъ кусокъ стали или желѣза, въ свою очередь, становится магнитомъ и притягиваетъ желѣзныя опилки. Поднося къ его концамъ компасную стрѣлку, легко убѣдиться, что верхній полюсъ его будетъ южнымъ, а нижній сѣвернымъ.

§ 2. Различіе въ намагничиваніи желѣза и стали. При введеніи стали и мягкаго (весьма бѣднаго углеродомъ) желѣза въ магнитное поле, а также при непосредственномъ соприкосновеніи съ магнитомъ и намагничиваніи ихъ помощью электрическаго тока замѣчаютъ, что мягкое желѣзо тотчасъ становится магнитнымъ, но по удаленіи причины магнитнаго состоянія немедленно теряетъ свой магнитизмъ. Твердое желѣзо (содержащее углерода менѣе, чѣмъ сталь, и неспособное закаливаться) сохраняетъ по удаленіи изъ магнитнаго поля нѣкоторое время такъ назыв. *остаточный магнитизмъ*, чѣмъ, какъ увидимъ далѣе, пользуются въ динамомашинахъ.

Сталь намагничивается медленнѣе желѣза, но сохраняетъ пріобрѣтенныя магнитныя свойства, обладая, какъ говорятъ, *задерживательной силой*.

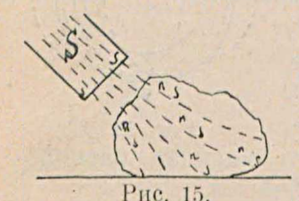


Рис. 15.

Явленіе протекаетъ такъ, какъ будто бы молекулы металла располагались по направленію силовыхъ линій магнитнаго поля (рис. 15), при чемъ у желѣза это наступаетъ сразу, а у стали требуетъ времени. Картина получается такая, какъ будто молекулы желѣза быстро возвращаются въ прежнее положеніе, а молекулы стали сохраняютъ полученное расположеніе. Существованіе задерживательной силы при вращеніи молекулярныхъ магнитовъ подтверждается тѣмъ, что при намагничиваніи стальной брусокъ нагрѣвается. Это повышеніе температуры можно разсматривать, какъ результатъ тренія молекулъ при оріентировкѣ ихъ въ опредѣленное положеніе.

Понятно, что для намагничиванія треніемъ достаточно пользоваться однимъ полюсомъ магнита. Проводя полюсомъ по одному направленію, заставляютъ расположиться по этому направленію противоположные полюсы молекулярныхъ магнитовъ. Проведя тѣмъ же полюсомъ столько же разъ въ обратномъ направленіи, возвращаютъ молекулы въ прежнее положеніе: размагничиваютъ тѣло. Проведя еще нѣсколько разъ въ этомъ направленіи, перемагничиваютъ тѣло, заставляютъ молекулярные магниты сдѣлать оборотъ на 180°.

§ 3. Магнитный якорь и вторичные полюсы. Къ концамъ искусственнаго подковообразнаго магнита, когда онъ не нуженъ для опытовъ, прикладываютъ полоску мягкаго желѣза —якорь, служащій для предохраненія магнита отъ размагничиванія (рис. 16). Силовыя линіи въ такомъ положеніи образуютъ замкнутыя кривыя, что препятствуетъ молекуламъ магнита съ теченіемъ времени возвращаться частью въ прежнее положеніе, въ которомъ онѣ были расположены до намагничиванія. Безъ якоря задерживательная сила магнита отъ времени уменьшается: магнитъ слабѣетъ. Якорь

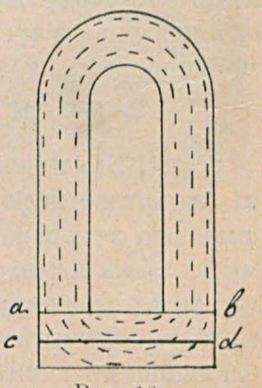


Рис. 16.

долженъ имѣть сѣченіе настолько большое, чтобы силовыя линіи магнита располагались замкнутой цѣпью внутри магнита и якоря. Если якорь тонкій (*abcd*— рис. 16), то силовыя линіи частью выходятъ въ воздухъ и якорь не предохраняетъ магнитъ отъ постепенной утраты его силы,—происходитъ т. наз. *утечка* силовыхъ линій.

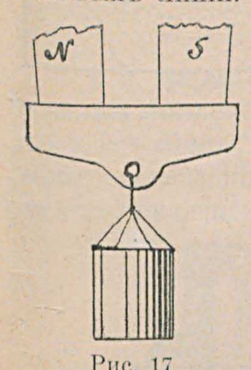


Рис. 17.

Подвѣшивая къ якорю, вѣсъ котораго извѣстенъ, грузики (рис. 17) до тѣхъ поръ, пока якорь не оторвется, можно опредѣлить подъемную силу магнита. Если перейти этотъ предѣлъ и оторвать якорь, то сила магнита слабѣетъ. Обратно, путемъ постепеннаго медленнаго увеличенія груза, напр., подвѣсивъ къ якорю чашечку и прибавляя ежедневно въ нее по дробинкѣ, можно усилить магнитъ. Якорь всегда нужно отводить (скольженіемъ), а не отрывать отъ магнита. Если вблизи подковообразнаго магнита помѣстить, какъ показано на рисункѣ 18, прямой магнитъ, то въ немъ появляются съ теченіемъ времени *вторичные полюсы s* и *n*, такъ какъ возникаютъ индуктированныя силовыя линіи. Помѣщая стальную полоску между одноименными полюсами (рис. 19), найдемъ, что такой же полюсъ возникаетъ въ серединѣ ея, а у концовъ два противоположныхъ.

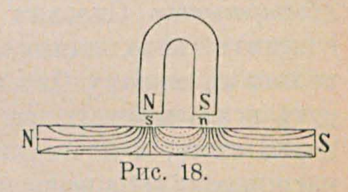


Рис. 18.

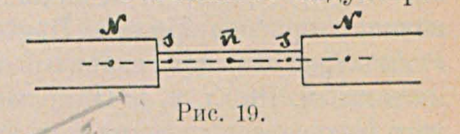
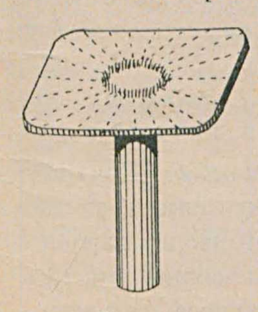


Рис. 19.

IV. Магнитное поле.

§ 1. Силовыя линіи въ магнитномъ полѣ. Какъ сказано выше, пространство, въ которомъ можно обнаружить дѣйствіе магнита, называется *магнитнымъ полемъ*.

Смотря по числу полюсовъ, поле можетъ быть *одно, двy и многополюснымъ*. Внося въ такое поле желѣзныя опилки, возбуждаютъ въ нихъ индуктивный магнитизмъ и, если дать имъ возможность перемѣщаться, то онѣ располагаются по направленію силовыхъ линій поля.


Рис. 20.

Однополюсное поле. Если на одинъ изъ концовъ прямого магнита положить листокъ картона, обсыпать его опилками и потряхиваніемъ картона дать имъ возможность расположиться по направленіямъ силовыхъ линій, то мы увидимъ, что эти линіи будутъ прямыми (рис. 20). Онѣ выходятъ радіально изъ периферіи магнита, на которой отдѣльныя опилки стоятъ почти вертикально.

Такъ какъ каждый магнитъ имѣетъ два полюса, при чемъ второй оказываетъ свое вліяніе на направленіе силовыхъ линій, то условно называютъ магнитное поле *однополюснымъ*, если противоположный полюсъ находится на столь значительномъ удаленіи, что дѣйствіемъ его можно пренебречь.

Двуполюсное поле. Направленіе силовыхъ линій въ магнитномъ двуполюсномъ полѣ различно, въ зависимости отъ того, разноименные или одноименные полюсы обнаруживаютъ въ немъ свое вліяніе. Въ полѣ разноименныхъ по-

люсовъ линіи силъ располагаются по кривымъ, соединяющимъ оба полюса (рис. 21). Магнитная стрѣлка, помѣщенная на равныхъ разстояніяхъ отъ полюсовъ (равной силы), становится параллельно магнитной оси. Въ полѣ одноименныхъ полюсовъ линіи отталкиваются другъ отъ друга, а стрѣлки становятся перпендикулярно оси (рис. 22).

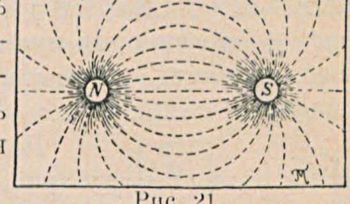


Рис. 21.

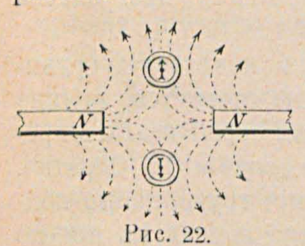
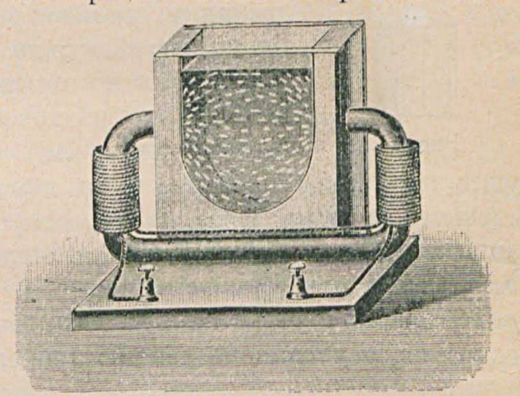


Рис. 22.

Понятно, что во всѣхъ данныхъ случаяхъ мы разсматриваемъ лишь проекціи силовыхъ линій на плоскость, на самомъ же дѣлѣ силовыя линіи распространяются отъ полюсовъ по опредѣленнымъ направленіямъ *въ пространствѣ*. Силовыя линіи условно считаютъ исходящими изъ сѣвернаго полюса къ южному. Онѣ появляются вокругъ всякаго куска желѣза, ставшаго магнитнымъ, и исчезаютъ при его размагничиваніи. Направленіе силовыхъ линій въ пространствѣ наблюдается при помощи прибора *Теплера*. Приборъ состоитъ (рис. 23) изъ сильнаго электромагнита (ч. III, гл. 4, § 1), полюсы котораго расположены внутри сосуда. Въ сосудъ наливается глицеринъ, въ которомъ размѣшаны мелкія желѣзныя опилки, располагающіяся въ жидкости по направленію силовыхъ линій между полюсами магнита.


Рис. 23.

§ 2. Законъ Кулона. Сила, съ которою полюсъ притягиваетъ разноименный или отталкиваетъ одноименный полюсъ по направленію магнитныхъ линій, какъ показываетъ опытъ, находится въ зависимости отъ разстоянія, степени намагничиванія и величины магнита. За единицу *магнитнаго взаимодѣйствія* принято такое *количество магнитизма, которое присуще полюсу, отталкивающему равный ему по величинѣ полюсъ, находящійся на разстояніи 1 см., съ силою, равной 1 динѣ* ($^1/_{981}$) гр.) *).

Если обозначить эту единицу магнитизма черезъ *PE (магнитная постоянная)*, то обыкновенная компасная стрѣлка обладаетъ отъ 3 до 12 *PE*.

Величина, равная 1000 *PE*, въ электротехникѣ называется *веберъ*. Притяженіе, оказываемое на свободно вращающуюся магнитную стрѣлку силой, заставляющей ее обращаться къ сѣверу, таково, какъ если бы въ этомъ направленіи на разстояніи 1 см. отъ сѣвернаго полюса стрѣлки находился южный магнитный полюсъ, равный по силѣ $^1/_5$ магнитной силы сѣвернаго полюса стрѣлки.

Кулонъ опытнымъ путемъ, при помощи весьма чувствительнаго прибора, названнаго по его имени *вѣсами Кулона* (см. ниже), показалъ, что одноименные полюсы отталкиваютъ другъ друга по прямой, ихъ соединяющей, съ силою пря-

---

*) *Дина*—физическая единица силы, сообщающая въ 1 секунду ускореніе въ 1 сантим. массѣ, равной 1 грамму.

мо пропорціональной произведенію ихъ PE и обратно пропорціональной квадрату разстоянія между ними.

Обозначая эту силу черезъ К, выразимъ законъ Кулона (данъ въ 1785—89 гг.) формулой: $K = \frac{m.m_1}{r^2}$, гдѣ К выражено въ динахъ. Формула совершенно та же, какъ и для взаимодѣйствія притяженія матеріальныхъ массъ, почему иногда говорятъ о единицѣ магнитизма, какъ о единицѣ *магнитной массы.*

§ 3. Магнитные вѣсы. Прямое опытное доказательство этого закона и опредѣленіе силы магнита усложняется противоположнымъ дѣйствіемъ второго полюса магнита. Для практическихъ цѣлей можно пользоваться магнитными вѣсами, дающими довольно точный результатъ, если магнитъ, служащій плечемъ ихъ коромысла, достаточно длинный.

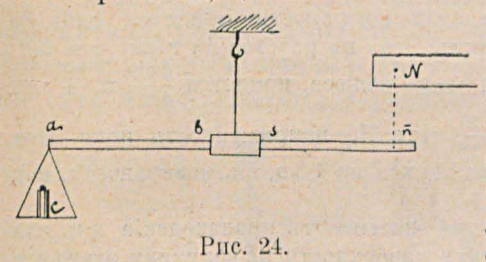


Рис. 24.

Намагниченная вязальная игла sn (рис. 24) укрѣплена въ деревянной палочкѣ и уравновѣшена другой палочкой ab, и чашкой c, такъ что коромысло, подвѣшенное къ крючку, виситъ горизонтально. Приближая сверху къ свободному концу иглы одноименный полюсъ N, заставимъ коромысло опуститься этимъ плечемъ. Чтобы привести его опять въ горизонтальное положеніе, надо на чашку другого плеча положить грузъ тѣмъ большій, чѣмъ сильнѣе полюсъ N и чѣмъ ближе онъ къ n. Увеличивая разстояніе между N и n вдвое, замѣчаемъ, что грузъ P надо для сохраненія равновѣсія уменьшить вчетверо и т. д.

§ 4. Элементы магнитнаго поля. Для опредѣленія магнитнаго поля надо знать направленіе его силовыхъ линій и такъ назыв. *напряженность* поля. Направленіе силовыхъ линій опредѣляется въ каждой точкѣ поля направленіемъ сѣвернаго конца весьма маленькой магнитной стрѣлки. Въ частномъ случаѣ направленіе силовыхъ линій можно демонстрировать при помощи иглы, вертикально воткнутой въ пробку. Для этого пробку съ иглой опускаютъ на поверхность воды, налитой въ сосудъ, надъ которымъ расположены другъ противъ друга разноименными полюсами два магнита. Пробка съ иглой поплыветъ къ одному изъ магнитовъ не по кратчайшему разстоянію (т. е. прямой линіи), а по кривой, соотвѣтствующей направленію одной изъ силовыхъ линій поля. Напряженность поля выражается дѣйствіемъ въ данной точкѣ на полюсъ, равный единицѣ.

За единицу напряженности—*гауссъ* принимается напряженность магнитнаго поля, дѣйствующаго на полюсъ, равный единицѣ, съ силой, равной 1 динѣ. Если полюсъ въ m магнитныхъ единицъ дѣйствуетъ на полюсъ, равный единицѣ, на разстояніи r см., то напряженность полюса, выраженная въ динахъ, будетъ $H = \frac{m.1}{r^2} = \frac{m}{r^2}$.

Поле будетъ *равномѣрнымъ*, если равнодѣйствующая магнитныхъ силъ во всѣхъ его точкахъ представляетъ постоянную по направленію и величинѣ.

Если въ магнитное поле ввести перпендикулярно къ направленію его силовыхъ линій магнитъ, разстояніе полюсовъ котораго l, а магнитность полюса m, то магнитъ будетъ стремиться стать по направленію силовыхъ линій поля, вращаясь подъ вліяніемъ пары силъ $M = m.\ l$. Это произведеніе изъ разстоянія между полюсами на напряженность полюса называется *магнитнымъ моментомъ.*

Удѣльнымъ магнитизмомъ называютъ отношеніе магнитнаго момента къ массѣ всего магнита. Въ хорошихъ магнитахъ онъ не менѣе 40.

Фарадей въ 1852 г. предложилъ выражать *напряженность поля* числомъ силовыхъ линій, пересѣкающихъ площадь въ 1 кв. см., перпендикулярную ихъ направленію.

Рис. 25 показываетъ, что число силовыхъ линій и напряженность поля уменьшаются съ удаленіемъ отъ полюса въ отношеніи обратномъ квадрату разстоянія *).

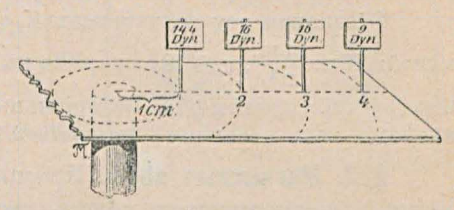
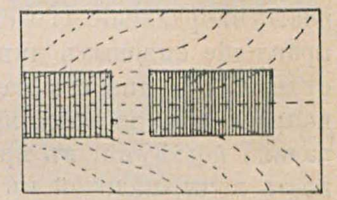


Рис. 25.

Вообразивъ магнитный полюсъ, равный единицѣ, и описавъ около него, какъ центра, сферу, радіусъ которой равенъ 1 см., найдемъ, что поверхность такого шара равна 4 π кв. см. По предложенію Фарадея на каждый кв. см. этой поверхности придется одна силовая линія. Если магнитная масса полюса m единицъ, то въ разстояніи r см. отъ него на каждый кв. см. шаровой поверхности, описанной около полюса, придется $\frac{4\pi m}{4\pi r^2} = \frac{m}{r^2}$ силовыхъ линій. Какъ мы видѣли выше, выраженіе $\frac{m}{r^2}$ есть H,—напряженность поля. Она, слѣдовательно, равна числу силовыхъ линій, приходящихся на 1 кв. см. поверхности, нормальной къ ихъ направленію.

Силовымъ потокомъ (или *магнитнымъ потокомъ*) называютъ произведеніе изъ слагающей напряженности поля, нормальной къ элементу поверхности, на величину этого элемента. Если воображаемая поверхность расположена въ магнитномъ полѣ нормально къ направленію силовыхъ линій, то магнитный потокъ выразится общимъ числомъ силовыхъ линій, проходящихъ черезъ эту поверхность: $N = H.Q$, гдѣ H напряженность поля, а Q поверхность, выраженная въ кв. сантиметрахъ.

§ 5. Магнитныя и діамагнитныя тѣла. Приблизивъ къ полюсу магнита кусокъ мягкаго желѣза, прикроемъ ихъ листомъ бумаги и посыпемъ опилками. Кривыя, по которымъ располагаются въ этомъ случаѣ опилки, показываютъ (рис. 26), что линіи силъ отклоняются отъ нормальнаго положенія. Индуктирующійся введеніемъ въ магнитное поле кусокъ желѣза какъ-бы втягиваетъ въ себя эти линіи. Картина, нами наблюдаемая, приводитъ къ заключенію, что масса желѣза представляетъ лучшій проводникъ для распространенія магнитизма, чѣмъ окружающая среда, въ данномъ случаѣ—воздухъ.

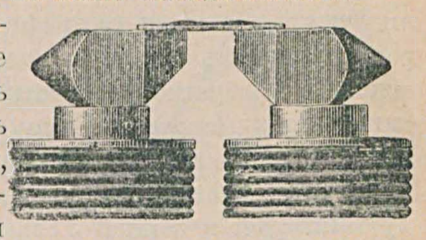

Рис. 26.

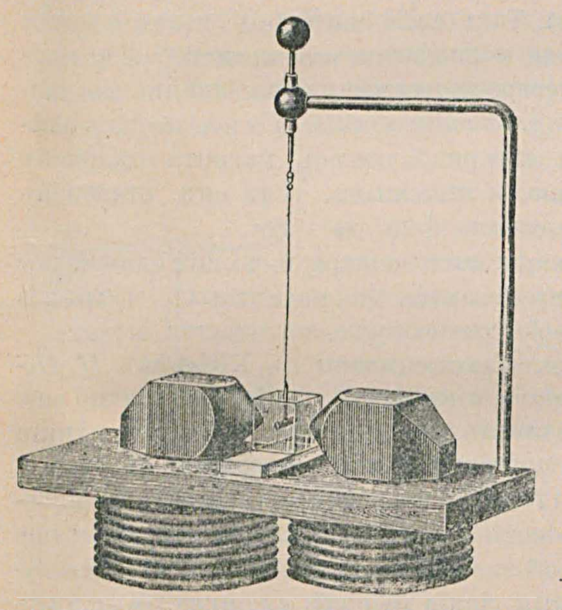
Эта проводимость магнитизма или *магнитная проницаемость*, обозначаемая обыкновенно чрезъ μ, какъ всякая величина, имѣетъ свою единицу. За единицу принимается проницаемость пустого пространства (мало отличающаяся отъ проницаемости воздуха). Тѣла, проницаемость которыхъ больше единицы, называются *парамагнитными*. Кромѣ извѣстнаго уже намъ желѣза, парамагнитными, но въ значительно меньшей степени, оказываются никкель и кобальтъ, а въ еще меньшей—большинство твердыхъ, жидкихъ и газообразныхъ тѣлъ. Парамагнитныя тѣла, для которыхъ значеніе μ весьма высоко и подвержено измѣненію въ зависимости отъ измѣненія напряженія магнитнаго поля, въ которомъ они находятся, въ послѣднее время получили названіе *ферромагнитныхъ* тѣлъ. *Гейслеръ* въ 1907 г. открылъ крайне интересное обстоятельство, что спла-

*) По ошибкѣ чертежника на рис. указаны напряженности поля: 144, 16, 16 и 9. Надо читать: 144, 16, 4 и 2.

вы мѣди, марганца и алюминія обладаютъ ферромагнитизмомъ. Какъ мы уже видѣли (гл. II, § 5), величина проницаемости зависитъ отъ температуры. Желѣзо при температурѣ выше 760° лишь парамагнитно, а не ферромагнитно. Намагниченное желѣзо при этой температурѣ, приближенно говоря, размагничивается, его магнитизмъ можетъ быть обнаруженъ лишь помощью сложныхъ приборовъ. Тѣла, проницаемость которыхъ меньше 1, носятъ названіе *діамагнитныхъ.*

Таковы: висмутъ, ртуть, свинецъ, золото, вода, спиртъ и пр. Будучи внесены въ магнитное поле, они отклоняютъ линіи силъ, такъ что черезъ единицу площади ихъ сѣченія, нормальнаго къ направленію линій, послѣднихъ проходитъ меньше, чѣмъ черезъ воздухъ, ихъ окружающій. Тѣла парамагнитныя, помѣщенныя между разноименными полюсами магнита, занимаютъ осевое положеніе (рис. 27), а діамагнитныя перпендикулярное осевому (рис. 28). Первое положеніе зависитъ отъ того, что въ ближайшихъ къ полюсамъ магнита частяхъ парамагнитныхъ тѣлъ возбуждаются полюсы, противоположные полюсамъ магнита; второе же—отъ возбужденія одноименныхъ полюсовъ, которые, какъ мы знаемъ, отталкиваются. Среда, окружающая тѣло, оказываетъ свое вліяніе на его проницаемость. Помѣщая испытуемое тѣло внутри сосуда, могущаго быть наполненнымъ различными жидкостями (рис. 28), замѣчаютъ, что парамагнитныя тѣла въ діамагнитной средѣ усиливаютъ свой парамагнитизмъ, а въ парамагнитной-ослабляютъ. Величина, обратная проницаемости — $1/\mu$, обозначается, какъ *удѣльное сопротивленіе.* Оно больше единицы у тѣлъ діамагнитныхъ и меньше 1-цы у парамагнитныхъ. Различіе пара и діамагнитныхъ тѣлъ было установлено въ 1845 г. *М. Фарадеемъ.*


Рис. 27.


Рис. 28.

Численно $\mu = \frac{B}{H}$, гдѣ H—напряженность поля, а B—магнитная индукція или плотность магнитнаго потока. Послѣдняя величина равна частному отъ дѣленія числа всѣхъ силовыхъ линій, проходящихъ черезъ сѣченіе, на его площадь, выраженную въ кв. см. Магнитное сопротивленіе какого-либо тѣла равно удѣльному магнитному сопротивленію, умноженному на длину пути силовыхъ линій и дѣленному на площадь сѣченія тѣла въ направленіи, нормальномъ направленію силовыхъ линій: $\frac{e}{\mu Q}$.

П. Вейсъ въ 1908 г. нашелъ, что для ферромагнитныхъ кристаллическихъ минераловъ *пирита* (FeS) и *магнитита* (F_3O_4) проницаемость имѣетъ различное значеніе въ направленіяхъ различныхъ относительно кристаллической оси.

V. Земной магнитизмъ.

§ 1. Магнитное поле земли. Фактъ постоянства направленія концовъ свободно вращающейся магнитной стрѣлки навелъ впервые *В. Джильберта* (1600 г.) на мысль, что земной шаръ представляетъ собою также магнитъ. Направленія же концовъ стрѣлки на югъ и сѣверъ указываютъ, что магнитные полюсы земли лежатъ около ея географическихъ полюсовъ. Поэтому полюсъ магнита, обращающійся къ сѣверу и называемый нами сѣвернымъ, въ сущности, является южнымъ и обратно. Сѣверный магнитный полюсъ земного шара былъ найденъ капитаномъ *Джономъ Россомъ* въ 1831 г. на островѣ *Бооѳіи Феликсъ*, одномъ изъ острововъ арктическаго архипелага Америки, у 70°30′ сѣв. широты. Южный магнитный полюсъ находится подъ южнымъ полярнымъ ледянымъ моремъ, между Викторіей и землей Уэлькса около 73°39′ юж. шир. Вертикальная плоскость, въ которой лежатъ полюсы свободно вращающагося магнита, называется *магнитнымъ меридіаномъ*.

§ 2. Магнитное склоненіе (деклинація). Такъ какъ магнитные полюсы земли не совпадаютъ съ географическими, то не совпадаютъ съ ними и магнитные меридіаны. Углы, образуемые ими съ географическими меридіанами въ данныхъ точкахъ земного шара, называются *углами склоненія*. *Склоненіе* или *деклинація* можетъ быть восточнымъ, когда сѣверный полюсъ магнита отклоненъ къ востоку отъ географическаго меридіана, и западнымъ, если онъ отклоненъ къ западу. Величина склоненія измѣняется отъ +20° до – 30°.

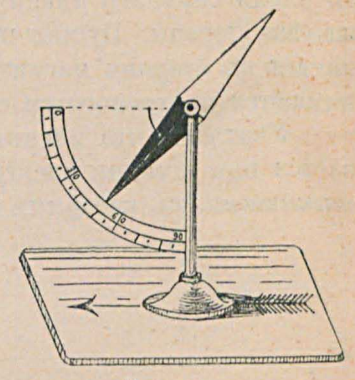
Кривыя, соединяющія точки поверхности земного шара, имѣющія одинаковое склоненіе, называются *изогонами*; онѣ пересѣкаются въ магнитныхъ полюсахъ земли. Кривая, магнитное склоненіе которой равно нулю, называется *агоною*.

Наблюденія надъ склоненіемъ впервые были сдѣланы въ XIII вѣкѣ *П. Перегриномъ* и повторены въ 1492 г. *Колумбомъ*, а въ Китаѣ оно было извѣстно еще въ XI столѣтіи. Въ 1635 г. *Гиллебрандъ* указалъ, что для каждаго даннаго пункта земли склоненіе не является величиной постоянной: оно подвержено вѣковымъ, годичнымъ и суточнымъ (*Д. Трэмъ*, въ 1772 г.) измѣненіямъ. Сверхъ того, иногда въ теченіе короткаго времени склоненіе испытываетъ быстрое колебаніе (*О. Гіортеръ*, въ 1741 г.). Такое явленіе обозначается терминомъ *магнитная буря* и сопровождаетъ обыкновенно сѣверныя сіянія (о нихъ см. ниже) и появленіе солнечныхъ пятенъ. Послѣдняя связь указываетъ, что помимо свѣта и тепла, ощущаемыхъ непосредственно нашими чувствами, солнце посылаетъ на землю и тотъ видъ энергіи, который обусловливаетъ магнитныя и электрическія состоянія тѣлъ.

§ 3. Магнитное наклоненіе (инклинація) Отклоненіе оси магнита, могущаго вращаться въ вертикальной плоскости, отъ горизонтальнаго положенія носитъ названіе *магнитнаго наклоненія* или *инклинаціи*. Оно открыто *Г. Гартманомъ* въ 1543 г. Инклинація возрастаетъ по мѣрѣ приближенія къ полюсамъ, испытывая въ нѣкоторыхъ пунктахъ аномаліи. Такъ, напримѣръ, въ Россіи, въ Курской губерніи, существуетъ какъ бы особый изолированный сѣверный полюсъ. Стрѣлка становится здѣсь вертикально. Объясненіе этого явленія присутствіемъ въ данномъ мѣстѣ земной коры большихъ массъ желѣзныхъ рудъ въ настоящее время отвергнуто.

Предполагаютъ наоборотъ, что стрѣлки принимаютъ вертикальное положеніе подъ вліяніемъ діамагнитныхъ тѣлъ внутри земной коры. Линія, соединяющая точки земного шара, въ которыхъ ось магнита остается горизонтальной, называется *магнитнымъ экваторомъ*.

§ 4. Деклинаторъ и инклинаторъ. Для опредѣленія деклинаціи служитъ сочетаніе компаса (буссоли) съ зрительной трубой. Опредѣливъ помощью послѣдней кульминацію солнца, а слѣдовательно направленіе географическаго меридіана, находятъ уголъ, образованный съ нимъ направленіемъ компаса. Инклинаторъ, служащій для опредѣленія угла наклоненія, представляетъ стрѣлку (рис 29), свободно вращающуюся въ вертикальной плоскости. Плоскость вращенія устанавливается такъ, чтобы она совпадала съ магнитнымъ меридіаномъ. Конецъ стрѣлки указываетъ на дуговой шкалѣ ея наклоненіе.


Рис. 29.

§ 5. Элементы магнитнаго поля земного шара. Для опредѣленія магнитнаго поля земли въ данной точкѣ ея поверхности надо знать *элементы поля:* склоненіе, наклоненіе и напряженность поля. Магнитная игла съ полюсами, сила которыхъ равна единицѣ, служащая инклинаторомъ, опредѣляетъ какъ направленіе силовыхъ линій поля (склоненіе и наклоненіе), такъ и его напряженность. Напряженность поля равна силѣ F, съ которой притягивается землей одинъ полюсъ стрѣлки и отталкивается другой (рис. 30). Эту силу F земного притяженія можно разложить на вертикальную составляющую V и горизонтальную H. Въ среднемъ для нашихъ широтъ величина H равна $^1/_5$ дины. По правилу Фарадея напряженность магнитнаго поля земли выразится числомъ 2-хъ силовыхъ линій на 1 кв. см. поверхности, нормальной къ направленію линій.

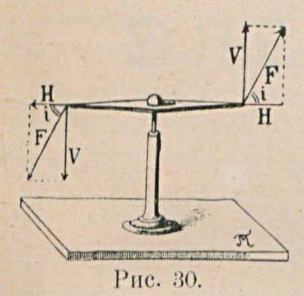


Рис. 30.

§ 6. Магнитизмъ положенія. Найдя для даннаго мѣста направленіе силовыхъ линій поля земного магнитизма, закрѣпимъ въ положеніи, имъ параллельномъ, желѣзный стержень. По истеченіи нѣкотораго времени онъ намагнитится черезъ вліяніе и при возможности свободнаго перемѣщенія въ пространствѣ займетъ положеніе, соотвѣтственное направленію силовыхъ линіи. Поднося поочередно магнитную стрѣлку къ желѣзнымъ балкамъ, рельсамъ и др. частямъ сооруженій, можно обнаружить ихъ магнитность. Намагничиваніе тѣмъ сильнѣе, чѣмъ ближе ихъ положеніе къ направленію силовыхъ линій земного поля, чѣмъ дольше они находятся въ данномъ мѣстѣ и чѣмъ больше ихъ масса. Можно предположить, что такое же происхожденіе естественныхъ магнитовъ, намагнитившихся съ теченіемъ времени подъ вліяніемъ земного магнитизма.

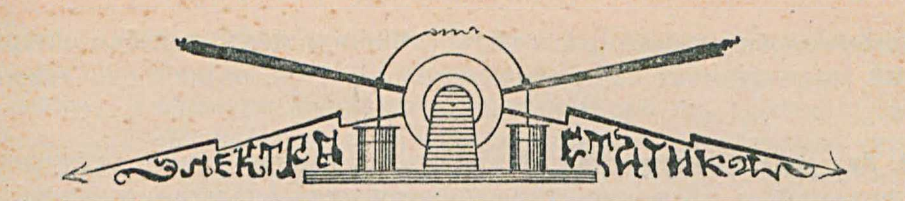
§ 7. Техническія примѣненія магнитовъ. Въ желѣзодѣлательныхъ и механическихъ мастерскихъ очищаютъ воздухъ отъ носящейся въ нихъ желѣзной пыли при помощи вращающихся магнитовъ. Магнитомъ же извлекаютъ окалину въ случаѣ засоренія ею глазъ рабочихъ. На фарфоровыхъ заводахъ изъ жидко разведенной глины сильными магнитами удаляютъ окись желѣза, понижающую

достоинство издѣлій. При помощи весьма сложныхъ по устройству механизмовъ, принципъ дѣйствія которыхъ однако весьма простъ, магнитомъ обогащаютъ желѣзныя руды. Принципъ такого обогащенія заключается въ просѣиваніи вблизи очень сильнаго магнита мелко истолченной смѣси руды и не содержащей желѣза породы. Пустая порода при этомъ падаетъ вертикально, а руда отклоняется въ сторону магнита. На металлическихъ заводахъ стальныя издѣлія поднимаются и переносятся съ мѣста на мѣсто подъемными кранами съ магнитомъ.

Укажемъ, что магнитизмъ въ этихъ случаяхъ возбуждается и поддерживается при помощи электрическаго тока, т. е. пользуются такъ назыв. *электромагнитами*, къ которымъ въ дальнѣйшемъ изложеніи мы еще вернемся.

Часть II.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.



I. Электрическое состояніе тѣлъ.

§ 1. Признаки электрическаго состоянія тѣлъ. Чтобы составить представленіе о свойствахъ наэлектризованнаго тѣла, возьмемъ палочку твердаго каучука (эбонита) и натремъ ее мѣхомъ или сукномъ. Поднесемъ ее теперь къ бузинному шарику. Какъ показано на рис. 31, шарики укрѣплены на концахъ легонькой палочки, горизонтально лежащей на вертикальномъ остріѣ, или, какъ изображено на рис. 32, шарикъ надѣтъ на стеклянной палочкѣ, которая можетъ вращаться въ горизонтальной плоскости. Палочка удерживается въ горизонтальномъ положеніи шелковыми нитями *AM* и *BN*.

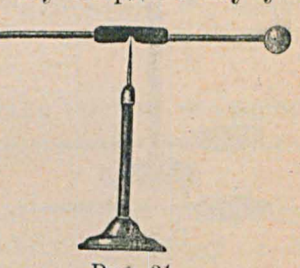


Рис. 31.

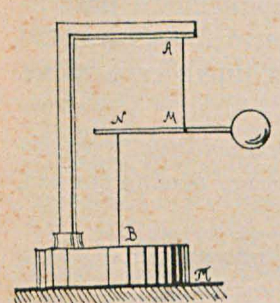


Рис. 32.

Каучуковая палочка стала чѣмъ-то вродѣ магнита: шарикъ ею притягивается. Прикоснувшись къ палочкѣ, шарикъ отскакиваетъ. Этимъ прикосновеніемъ онъ наэлектризовался и теперь можетъ самъ притянуться къ нашей рукѣ. Слѣдовательно: *наэлектризованное тѣло притягиваетъ ненаэлектризованное и отталкиваетъ его послѣ прикосновенія, при чемъ послѣднее тоже наэлектризовывается.* О тѣлѣ наэлектризованномъ говорятъ, что оно *заряжено* электричествомъ—имѣетъ электрическій зарядъ. Возьмемъ шарикъ въ руку, проведемъ рукой вдоль палочки или палочку проведемъ черезъ пламя и они потеряютъ пріобрѣтенныя ими электрическія свойства—*разрядятся.* Итакъ, наэлектризованное тѣло обладаетъ особыми свойствами. Причина, отъ которой эти свойства зависятъ, называется *электричествомъ.* Опытъ, нами сдѣланный, обнаружилъ: 1) что *электричество можетъ являться результатомъ работы (тренія)*, 2) *что оно можетъ переходить съ наэлектризованнаго тѣла на другія тѣла.*



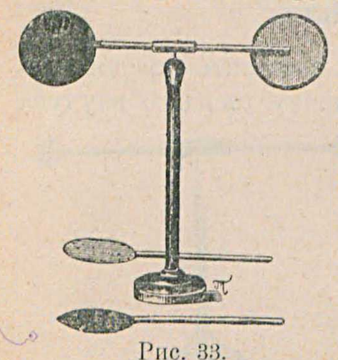
Вильямъ Джильбертъ.

Слово „*электричество*" происходитъ отъ греческаго названія янтаря „элѣктронъ", на которомъ человѣчество ознакомилось съ явленіями этого рода. Предложено оно впервые *Робертомъ Бойлемъ*, въ 1675 году.

Послѣ *Θалеса Милетскаго*, впервые описавшаго это явленіе (640 л. до Р. Х.), о немъ упоминали многіе писатели древности. Но протекло болѣе 2,000 лѣтъ, въ теченіе которыхъ человѣчество ни на шагъ не подвинулось дальше. Только въ концѣ XVI вѣка

В. Джильбертъ обнаружилъ рядъ тѣлъ, дѣйствующихъ подобно янтарю. Онъ же первый ввелъ терминъ *„электрическія явленія“* въ отличіе отъ *явленій магнитныхъ*.

§ 2. Два рода электричества. Замѣнимъ въ нашемъ опытѣ каучуковую палочку стеклянной, а мѣхъ или сукно бумагой или амальгамированной кожей. Результатъ опыта будетъ, повидимому, совершенно тотъ же. Попробуемъ приближать другъ къ другу наэлектризованныя каучуковую и стеклянную палочки, подвѣсивъ одну изъ нихъ горизонтально на ниткѣ или помѣстивъ, какъ показано на рис. 33, на остріе иглы. При попыткѣ прикоснуться увидимъ, что подвѣшенная палочка сама повернется на встрѣчу подносимой. Возьмемъ теперь, какъ подвѣшенную, такъ и подносимую, палочки одинаковыя, – обѣ стеклянныя, натертыя о бумагу, или обѣ каучуковыя, натертыя о сукно. Попытка прикоснуться потерпитъ неудачу: подвѣшенная палочка будетъ отклоняться отъ соприкосновенія, отталкиваться (что впервые замѣтилъ *О. фонъ-Герике*, въ 1672 году) отъ приближающейся палочки, какъ отталкивается конецъ магнитной стрѣлки при приближеніи одноименнаго магнитнаго полюса. Такое различіе видовъ электричества было открыто *Дю-Фэ* въ 1733 году. Ранѣе (1729) онъ же обнаружилъ явленіе электризаціи прикосновеніемъ къ наэлектризованному тѣлу


Рис. 33.

Электричество стеклянной палочки, по предложенію *Лихтенберга*, условились называть *положительнымъ*, а каучуковой—*отрицательнымъ*, обозначая ихъ черезъ +E и —E.

Изъ продѣланнаго опыта можно вывести такой законъ: *противоположныя по знаку электричества притягиваются, одинаковыя отталкиваются.*

§ 3. Количество электричества. Натирая одну и ту же каучуковую или стеклянную палочку то меньше и слабѣе, то дольше и сильнѣе, мы убѣдимся, что сила ея притяженія и отталкиванія въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ различна. Слѣдовательно, мы имѣемъ право говорить о количествѣ электричества, какъ говоримъ о количествѣ тепла или свѣта, или о величинѣ электрическаго *заряда*. Прикасаясь рукой къ заряженному металлическому шарику, мы сводимъ количество электричества къ нулю:—*разряжаемъ* тѣло.

Того же можно достичь по отношенію къ наэлектризованной палочкѣ, прикасаясь ею нѣсколько разъ къ металлическому шарику маятника и каждый разъ послѣ того касаясь маятника рукою. *Количество электричества, утерянное однимъ тѣломъ, пріобрѣтается другимъ.*

За единицу *количества электричества* или *электрической массы*, обозначаемой *LE*, принимается нѣкая весьма малая *величина, отталкивающая равную себѣ величину на разстояніи 1-го сантим. съ силою 1 дины.* Для практическихъ измѣреній такая единица настолько мала, что обыкновенно количество электричества сравниваютъ съ 3,000 милліоновъ такихъ единицъ. Эта послѣдняя мѣра количества электричества носитъ названіе *кулонъ* (гл. IX § 2).

О томъ, какъ измѣрить количество электричества указанными величинами, мы скажемъ ниже, а пока пусть читатель продѣлаетъ нѣсколько опытовъ съ притяженіемъ и отталкиваніемъ тѣлъ: заставитъ прыгать кусочки бумаги и бузинные шарики при помощи куска янтаря, потертаго о сукно, или сургуча, натертаго шелкомъ; приблизитъ наэлектризованное тѣло къ чашкѣ легкихъ роговыхъ вѣсовъ, къ своему лицу, волосамъ и проч. *).

§ 4. Распространеніе электричества. Электричество имѣетъ стремленіе распространяться, но если этому распространенію поставлены границы, то оно проявляется въ напряженіи, до нѣкоторой степени аналогичномъ стремленію расшириться, свойственному сжатому газу или сжатой пружинѣ.

Тѣла, въ которыхъ стремленіе электричества распространиться не имѣетъ препятствій, называются *проводниками*. Такими веществами являются: металлы, тѣла человѣка и животныхъ, водяные пары, земля.

По проводникамъ электричество распространяется такъ быстро, что распространеніе это даже на значительное разстояніе долгое время считали мгновеннымъ.

Чтобы убѣдиться въ томъ, насколько быстро электричество распространяется по проводамъ, протягиваютъ черезъ всю комнату проволоку и въ разныхъ мѣстахъ ея прикрѣпляютъ электрическіе маятники — пары бузинныхъ шариковъ, подвѣшенныхъ на металлической канители (рис. 34). Стоитъ прикоснуться наэлектризованнымъ тѣломъ C къ любой точкѣ проволоки AB, какъ всѣ маятники m, m′, m″... тотчасъ и одновременно разойдутся (зарядившись всѣ сразу одноименнымъ электричествомъ).

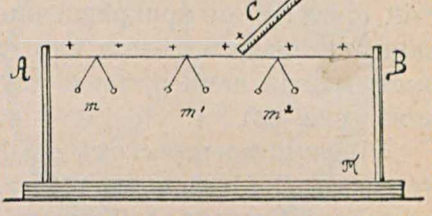


Рис. 34.

Практически удобнѣе демонстрировать быстроту распространенія электричества по проводнику при помощи мотка изолированной проволоки. Мотокъ занимаетъ немного мѣста при длинѣ проволоки въ десятки метровъ. Одинъ конецъ проволоки (освобожденный отъ изолировки) прикрѣпляютъ къ шарику электроскопа, а другимъ касаются наэлектризованнаго кондуктора. Въ моментъ прикосновенія листочки электроскопа расходятся.

Однако, хотя скорость распространенія свѣта и весьма велика, но все же является опредѣленной конечной величиной. Только въ концѣ XIX вѣка удалось доказать, что конечной скоростью обладаетъ и электричество. Мы еще вернемся къ опредѣленію скорости распространенія электричества въ концѣ нашего курса.

При прикосновеніи рукой къ металлическому шару горизонтальнаго маятника онъ моментально терялъ электрическій зарядъ. Это также служитъ подтвержденіемъ проводимости металловъ и нашего тѣла.

Непроводниками будутъ тѣла, хотя и способные электризоваться, но сохраняющія электричество только въ той части, гдѣ оно возникло. Таковы: вулканизированный каучукъ (эбонитъ), стекло, шелкъ, воскъ, смола. Держа предметы,

*) Болѣе подробное описаніе опытовъ читатель найдетъ въ книгѣ того же автора: „Опыты по электричеству на самод. приборахъ и въ физич. кабин. средн. школъ“.

сдѣланные изъ этихъ веществъ, въ рукѣ, ихъ можно наэлектризовать, чего нельзя сдѣлать съ проводниками.

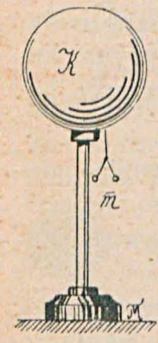


Рис. 35.

Тѣла, хотя и обладающія проводимостью электричества, но лишь въ слабой степени, носятъ названіе *полупроводниковъ*. Однимъ изъ нихъ будетъ бумага. Полоска бумаги, натертая обыкновенной резиной, электризуется настолько сильно, что прилипаетъ къ рукѣ. Открытіемъ проводниковъ и непроводниковъ мы обязаны *Стефану Грею*, сдѣлавшему свои наблюденія надъ различной проводимостью въ 1729 г.

Уединенный (изолированный) проводникъ, напр. металлическій шаръ *K* или закругленный по концамъ цилиндръ на стеклянной подставкѣ, называется *кондукторомъ*. Для обнаруженія въ немъ электрическаго заряда къ нему подвѣшиваютъ двойной маятникъ *т*, шарики котораго при наличіи заряда расходятся (рис. 35).

§ 5. Обнаруженіе электричества. Электроскопъ. Приборы, служащіе подобно электрическому маятнику для обнаруженія электрическаго заряда въ тѣлѣ, называются *электроскопами*. Устройство ихъ весьма различно, но всегда основано на отталкиваніи одноименно наэлектризованныхъ тѣлъ.

Наиболѣе часто примѣняемымъ электроскопомъ служитъ стеклянная банка, внутрь которой черезъ пробку пропущенъ металлическій стержень съ прикрѣпленными къ нему двумя полосками (листочками) сусальнаго золота или елочной канители *). Конецъ стержня, выступающій надъ пробкой, заканчивается металлическимъ же шарикомъ (рис. 36).

Рис. 36.

Первый электроскопъ съ бузинными шариками на шелковыхъ нитяхъ былъ устроенъ *Т. Ковалло* въ 1779 г. *Вольта* въ 1781 г. замѣнилъ бузинные шарики соломинками, а А. Боннетъ, въ 1786 г., вмѣсто соломинокъ взялъ золотые листочки.

Стеклянный сосудъ электроскопа служитъ, какъ изоляторъ, а также защищаетъ листочки электроскопа отъ сырости и предупреждаетъ ихъ движеніе колебаніемъ воздуха.

Прикосновеніе къ шарику электроскопа наэлектризованнымъ тѣломъ вызываетъ расхожденіе листочковъ. Уголъ расхожденія будетъ тѣмъ больше, чѣмъ сильнѣе зарядъ, полученный элекроскопомъ при этомъ прикосновеніи.

Прикасаясь къ шарику стеклянной палочкой, натертой о бумагу, зарядимъ электроскопъ + электричествомъ; прикасаясь кучуковой, потертой о сукно, или натирая шарикъ волосяной кистью, зарядимъ—электричествомъ.

Съ заряженнымъ электроскопомъ можно продѣлать слѣдующіе опыты: 1) прикоснуться къ тѣлу, наэлектризованному одноименнымъ съ зарядомъ электроскопа электричествомъ; листочки электроскопа разойдутся еще больше; 2) прикоснуться къ тѣлу, зарядъ котораго противоположенъ по знаку;—листочки опадутъ.

Въ первомъ случаѣ почти весь зарядъ электроскопа перейдетъ на листочки, уйдя изъ шарика, потому что одноименныя электричества шарика и тѣла будутъ отталкиваться.

*) Тонкая и узкая латунная ленточка, употребляющаяся, какъ украшеніе рождественскихъ елокъ, и находящая многочисленныя примѣненія въ опытахъ съ электричествомъ.

Во второмъ случаѣ обратно,—почти весь зарядъ притянется на шарикъ, а листочки разрядятся.

Приближая наэлектризованную палочку къ шарику, но не касаясь его, увидимъ, какъ сближаются листочки, тогда какъ удаленіе палочки сопровождается ихъ расхожденіемъ.

Къ объясненію такого явленія мы еще вернемся (гл. III, § 3).

Изъ сказаннаго вытекаетъ, какъ при помощи электроскопа можно обнаружить, какимъ электричествомъ, положительнымъ или отрицательнымъ, заряжено тѣло. Потремъ, напримѣръ, стекло о шелкъ и поднесемъ послѣдній къ электроскопу, заряженному отрицательно: листочки разойдутся;—значитъ, шелкъ при треніи о стекло зарядился тоже отрицательно. Поднесемъ теперь стекло: листочки опадутъ,—стекло наэлектризовалось положительно.

§ 6. Различныя конструкціи электроскоповъ. 1) *Электроскопъ со шкалой.* Въ стеклянномъ ящикѣ (рис. 37 и 38) укрѣплена дуговая шкала. При отсутствіи

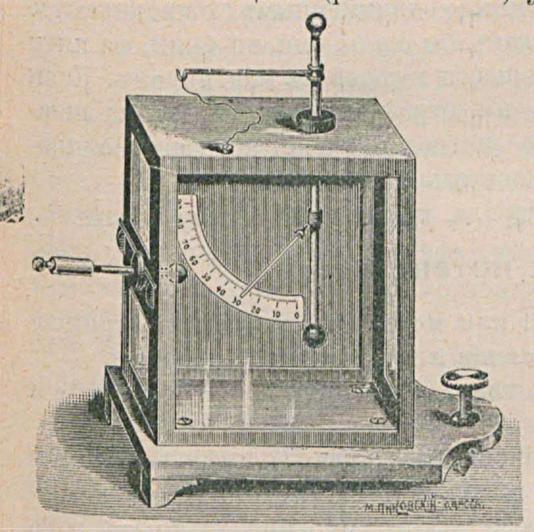


Рис. 37.

заряда листочки электроскопа стоятъ на 0° шкалы, при чемъ одинъ изъ нихъ укрѣпленъ въ этомъ положеніи неподвижно, а другой, когда электроскопъ получаетъ зарядъ, отклоняется по шкалѣ.

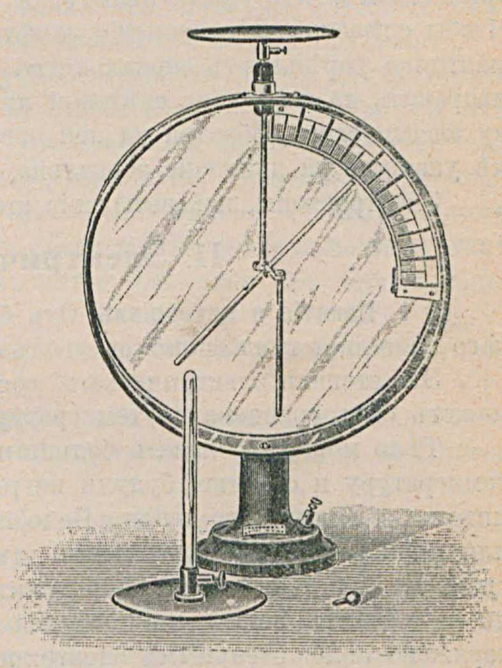


Рис. 38.

2) *Электроскопъ Боненбергера* имѣетъ только одинъ золотой листокъ (рис. 39), могущій двигаться между двумя дисками, изъ которыхъ одинъ всегда заряженъ +, а другой—электричествомъ (объясненіе будетъ дано ниже: часть III, гл. I, § 5).

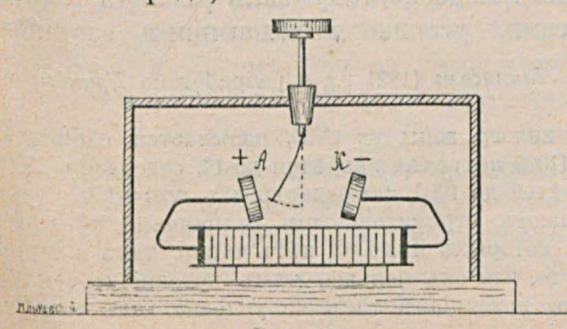


Рис. 39.

При полученіи электроскопомъ положительнаго заряда листочекъ отклоняется къ диску *K*, отрицательнаго къ

A. Электроскопъ этотъ отличается своей чувствительностью.

Еще большей чувствительностью отличается:

3) *Зеркальный электроскопъ* (рис. 40). При прикосновеніи къ клеммѣ *K* наэлектризованнымъ тѣломъ горизонтальный маятникъ *p* заряжается противоположнымъ по знаку электричествомъ. Окружающее маятникъ кольцо составлено изъ 4-хъ проводниковъ, отдѣленныхъ другъ отъ друга непроводниками. Проводники, расположенные другъ противъ друга, заряжены разноименно, напр., *A* и A_1 положительно, *B* и B_1 отрицательно. При самомъ слабомъ зарядѣ маятника онъ повернется на нѣкоторый уголъ, такъ какъ проводники, заряженные разноименнымъ съ нимъ электричествомъ, его притягиваютъ, а заряженные одноименнымъ отталкиваютъ. Чтобы сдѣлать эти отклоненія замѣтными, какъ бы малы они ни были, на нити маятника укрѣпляютъ зеркальце *m*, вращающееся вмѣстѣ съ маятникомъ. Если направить на зеркальце свѣтовой лучъ, то онъ, отразившись, упадетъ на шкалу электроскопа, образуя на ней освѣщенное пятно, движенія котораго по шкалѣ укажутъ на движеніе зеркальца, а слѣдовательно и маятника *p*.

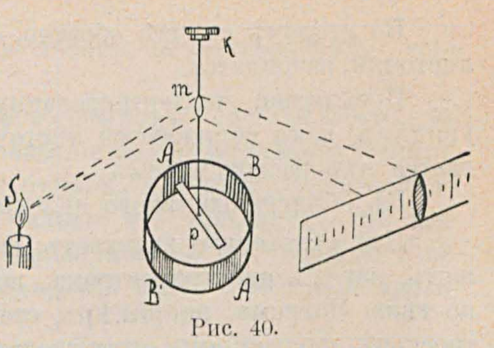


Рис. 40.

Электроскопы, показывающіе степень заряда, называются *электрометрами*.

II. Электрическій потенціалъ.

§ **I. Понятіе о потенціалѣ.** Отъ большей или меньшей степени электрическаго состоянія тѣла зависитъ уголъ расхожденія листковъ электроскопа.

Эта степень электрическаго состоянія тѣла называется *потенціаломъ* *) и можетъ быть сравнена съ температурой.

Тѣло можетъ обладать большимъ количествомъ тепла **), имѣя невысокую температуру и обратно, будучи нагрѣто до высокой температуры, имѣть незначительное количество тепла. Подобнымъ же образомъ оно можетъ имѣть тотъ или иной потенціалъ независимо отъ величины заряда (количества электричества). Если потенціалъ тѣла положительный, т. е. выше, чѣмъ потенціалъ земли (потенціалъ земли принимается равнымъ нулю), то мы говоримъ, что тѣло заряжено положительнымъ электричествомъ; въ обратномъ же случаѣ—отрицательнымъ. Если въ тѣлѣ нельзя обнаружить ни + ни — электричества, то потенціалъ его равенъ 0 (потенціалъ земли). Подобно тому какъ разность температуры можетъ быть измѣрена градусами, условно выражающими единицы

*) Впервые понятіе о потенціалѣ дано *Лапласомъ* (1821 г.), а разработано *Гриномъ* и *Гауссомъ* (1828 г.).

**) Количество тепла, нагрѣвающее 1 килогр. воды на 1° С, называется единицей тепла (калоріей). Одинъ кубич. метръ воды (1000 литровъ), нагрѣтой до 1°, содержитъ 1000 калорій, тогда какъ одинъ литръ воды, нагрѣтой до 100°, заключаетъ ихъ всего 100.

Какъ градусы ниже 0 условно обозначаютъ отрицательными величинами, хотя это не указываетъ, что въ тѣлахъ, температура которыхъ ниже 0°, нѣтъ тепла, такъ и отрицательный потенціалъ указываетъ лишь на то, что онъ меньше, чѣмъ потенціалъ земли. Понятіе о положительномъ и отрицательномъ потенціалѣ такъ же условно, какъ понятіе о + и — градусахъ тепла.

температуры, такъ и разность потенціаловъ измѣряется условными единицами.

Единицу температуры называютъ градусомъ, который равенъ 0,01 разности температуръ замерзанія и кипѣнія воды при нормальномъ давленіи. Единицей разности потенціаловъ служитъ *вольтъ*, опредѣленіе котораго будетъ дано ниже (гл. IX, § 5)

Какъ термометры служатъ для измѣренія температуры, такъ *вольтметры* служатъ для опредѣленія разности потенціаловъ, выраженныхъ въ вольтахъ.

§ 2. Уравненіе потенціаловъ. Зарядимъ два кондуктора такъ, чтобы потенціалъ одного изъ нихъ былъ больше, чѣмъ другого. Прикасаясь къ нимъ шарикомъ электроскопа, увидимъ, что уголъ расхожденія его листковъ будетъ тоже различенъ. Затѣмъ соединимъ кондукторы проводникомъ (металлической проволокой) и, прикасаясь опять шарикомъ электроскопа, увидимъ, что уголъ расхожденія листочковъ будетъ одинъ и тотъ же, какого бы кондуктора мы ни коснулись. Слѣдовательно, потенціалы ихъ сравнялись. Понятно, что послѣ каждаго прикосновенія электроскопъ разряжаютъ, трогая его шарикъ рукою.

То же самое наблюдаемъ мы и въ случаѣ соединенія двухъ тѣлъ, нагрѣтыхъ до разной температуры хорошимъ проводникомъ тепла: температуры ихъ уравниваются. Но для уравниванія температуръ требуется болѣе или менѣе значительный промежутокъ времени, тогда какъ уравниваніе потенціаловъ происходитъ настолько быстро, что его можно считать мгновеннымъ. Подобно тому какъ температура послѣ уравниванія будетъ средней между начальными, такъ и потенціалъ будетъ у обоихъ кондукторовъ выше меньшаго изъ первоначальныхъ, но ниже большаго.

Переходъ электричества (теченіе его или *электрическій токъ*) можетъ возникнуть только при разности потенціаловъ.

Изолированный проводникъ, кондукторъ, во всѣхъ точкахъ своей поверхности имѣетъ одинъ и тотъ же потенціалъ: электричество на немъ находится въ покоѣ.

§ 3. Максимумъ потенціала. Натирая каучуковую палочку о сукно и поднося ее время отъ времени къ электроскопу, замѣчаемъ, что въ началѣ при каждомъ новомъ прикосновеніи листочки электроскопа расходятся все на большій уголъ, а затѣмъ, сколько бы мы ни продолжали натирать палочку, уголъ расхожденія листочковъ, достигнувъ опредѣленнаго максимума, болѣе не увеличивается. Заключаемъ, что и потенціалъ электризуемаго тѣла достигъ максимума и дальнѣйшая работа тренія преобразовывается лишь въ теплоту. Этотъ maximum зависитъ отъ веществъ тѣлъ, электризуемыхъ треніемъ. Для каучука, натираемаго мѣхомъ, онъ не можетъ превзойти 30,000 вольтъ, подобно тому какъ тѣло, положенное въ кипящую воду, не можетъ нагрѣться выше 100°, сколько бы мы его ни кипятили.

§ 4. Отношеніе длины электрической искры къ разности потенціаловъ. Сближая два наэлектризованныхъ тѣла, если разность потенціаловъ ихъ достаточно велика, мы увидимъ появленіе *электрической искры* и услышимъ характерный трескъ, сопровождающій ея появленіе. Явленіе это было замѣчено впервые *Уэлломъ* въ 1708 г. Разстояніе между наэлектризованными тѣлами, дающими искру, можетъ служить приблизительно для опредѣленія разности ихъ потенціаловъ.

Искра длиною въ 1 миллим. соотвѣтствуетъ разности потенціаловъ въ 5000 вольтъ (гл. VI, § 6).

§ 5. Соединеніе равныхъ количествъ разноименныхъ электричествъ. Зарядимъ два одинаковыхъ кондуктора разноименными электричествами такъ, чтобы соединенные съ ними электрическіе маятники расходились на равные углы: количество электричества на обоихъ кондукторахъ будетъ одинаково. Соединимъ кондукторы проводникомъ;—маятники опадутъ. Равныя количества разноименныхъ электричествъ взаимно нейтрализовались, и потенціалъ упалъ до нуля. Полная аналогія наблюдается при смѣшеніи равныхъ количествъ ртути, нагрѣтыхъ на одинаковое число градусовъ выше и ниже 0 *): средняя температура будетъ 0°.

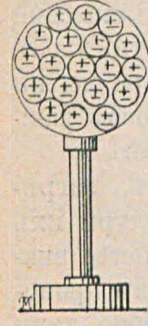


Рис. 41.

§ 6. Нейтральныя тѣла. При нейтрализаціи равныхъ количествъ противоположныхъ по знаку электричествъ явленіе происходитъ такъ, *какъ будто* каждая частица проводника наэлектризовывается равными количествами + и — электричества (схематическое изображеніе рис. 41), взаимно связывающими другъ друга.

Проводникъ въ такомъ состояніи не проявляетъ электрическихъ свойствъ. Каждая частица его какъ бы съ одинаковой силой притягиваетъ и отталкиваетъ другое тѣло.

Отсюда можно предположить, что всякое *ненаэлектризованное* тѣло, потенціалъ котораго равенъ 0, находится въ такомъ состояніи, что каждая частица его поверхности наэлектризована равными и противоположными по знаку количествами электичества. Такое предположеніе впервые высказалъ *Р. Симмеръ*, въ 1759 году.

§ 7. Опредѣленіе потенціала кондуктора. Положимъ, что кондукторъ заряженъ 6 LE, и потенціалъ его равенъ 12,000 вольтъ.

Чему будетъ равенъ его потенціалъ, если зарядить его еще—14 LE?

Очевидно, что + 6 LE нейтрализуютъ −6 LE. Оставшіяся свободными −8 LE будутъ соотвѣтствовать потенціалу въ 16,000 вольтъ.

Это можно найти изъ пропорціи:

$$+6 : -8 = 12{,}000 : X,$$

откуда X=16,000 вольтъ. Опять-таки и здѣсь можно провести полную аналогію съ тепловыми явленіями. Придадимъ тѣлу, имѣющему температуру 0°, 6 калорій тепла. Положимъ, что масса и теплоемкость тѣла таковы, что эти 6 калорій нагрѣютъ его до 12°. До какой температуры охладится тѣло, если теперь отнять у него 14 калорій? Отнявъ 6, охладимъ до 0°, отнимая еще 8, до—16°.

III. Возникновеніе электричества.

§ 1. Переходъ механической работы въ электричество. Однимъ изъ источниковъ возникновенія электричества, какъ мы уже видѣли, является механическая работа (треніе). При треніи другъ о друга тѣла пріобрѣтаютъ разноименные заряды. Если испытуемыя тѣла или одно изъ нихъ принадлежатъ къ числу проводниковъ электричества, то при опытѣ нельзя ихъ держать въ рукахъ, а надо укрѣплять на изоляторѣ. Натирая металлическій предметъ шелкомъ, обна-

*) Конечно не ниже −39°, такъ какъ при —39° ртуть замерзаетъ и теплоемкость ея мѣняется.

ружимъ въ немъ отрицательный, а въ шелкѣ положительный зарядъ. Если же натирать металлъ о каучукъ, то металлъ зарядится +, а каучукъ—электричествомъ. Вообще, одно и то же тѣло заряжается то положительнымъ, то отрицательнымъ электричествомъ, смотря по тому, какимъ тѣломъ его натирать. Можно расположить всѣ тѣла въ рядъ, въ которомъ каждый предыдущій членъ будетъ электроположителенъ относительно послѣдующаго.

Примѣромъ такого ряда могутъ служить: + мѣхъ, стекло, шерсть, шелкъ, металлы, каучукъ, сѣра.

Одинаковыя вещества при треніи не электризуются; работа тренія переходитъ при этомъ только въ теплоту, но малѣйшая разница въ ихъ структурѣ уже вызываетъ электризацію. *Фарадей*, капая воду на ледъ, замѣтилъ, что ледъ электризуется положительно, а вода отрицательно.

§ 2. **Электризація вліяніемъ (индукція).** По нашему условному опредѣленію положительное и отрицательное электричество на незаряженномъ кондукторѣ связываютъ (нейтрализуютъ) другъ друга. Частичное расторженіе такой связи можно обнаружить, приближая къ ненаэлектризованному кондуктору *К* наэлектризованное тѣло *А* (рис. 42). Электричество послѣдняго притянетъ къ себѣ противоположное по знаку электричество кондуктора *К*, а освободившееся одноименное соберется на другомъ концѣ кондуктора (одноименный ему зарядъ *А* его отталкиваетъ) и обнаружится расхожденіемъ шариковъ электрическаго маятника (гл. I, § 5). Такое появленіе *свободнаго* электричества на кондукторѣ носитъ названіе *электризаціи черезъ вліяніе* или *индуктивной электризаціи.*

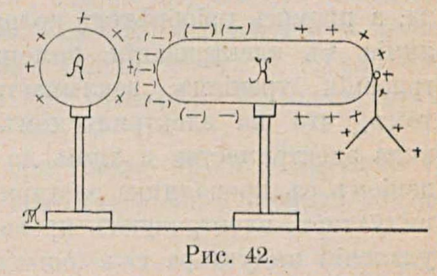
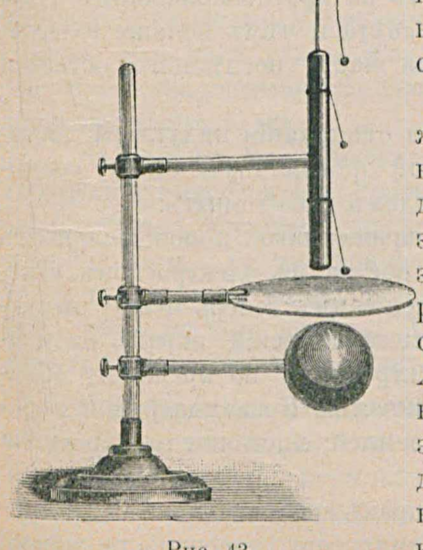


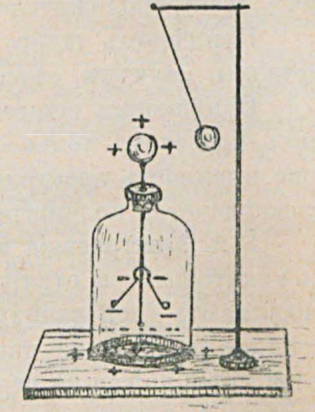
Рис. 42.

Свободное электричество, не удерживаемое электричествомъ тѣла *А*, можетъ быть удалено прикосновеніемъ къ кондуктору рукой. Электричество *связанное*, противоположное по знаку электричеству индуктирующаго тѣла, останется на кондукторѣ. Помощью электроскопа легко убѣдиться въ такомъ „раздѣленіи“ электричества на концахъ кондуктора.


Рис. 43.

Удаленіе свободнаго электричества обнаруживается паденіемъ шариковъ маятника. Отставимъ теперь наэлектризованное тѣло *А* отъ кондуктора. Шарики маятника вновь разойдутся, а электроскопъ покажетъ, что кондукторъ зарядился электричествомъ противоположнымъ по знаку заряду въ *А*. Это произошло оттого, что электричество, скопившееся на ближайшемъ къ индуктору *А* концѣ кондуктора, разошлось по всей его поверхности, когда кондукторъ *А* былъ удаленъ, и зарядило кондукторъ. Такое объясненіе индукціи далъ въ 1760 году *Вильке*, а обнаружилъ его впервые въ 1753 г. *Джонъ Кантонъ*. Въ физическихъ кабинетахъ для демонстрированія описаннаго явле-

нія примѣняется приборъ *Рисса* (рис. 43), состоящій изъ двухъ индукторовъ, раздѣленныхъ изоляторомъ. Заряжая нижній кондукторъ положительнымъ электричествомъ, убѣждаются, что на верхнемъ кондукторѣ внизу появляется отрицательный, а вверху положительный зарядъ и что, если отвести послѣдній зарядъ въ землю, то отрицательный остается и можетъ быть освобожденъ и распространится по всей поверхности кондуктора, когда разрядить нижній кондукторъ. Разряжая же его, не отводя положительнаго заряда верхняго кондуктора въ землю, наблюдаютъ нейтрализацію разноименныхъ индуктивныхъ зарядовъ. Еще проще зарядить металлическое дно электроскопа (рис. 44), поставленнаго на непроводящее основаніе, зарядомъ опредѣленнаго знака, напр., положительнымъ; тогда листочки разойдутся подъ вліяніемъ индуктивнаго отрицательнаго заряда, а шарикъ пріобрѣтетъ положительный зарядъ. Различіе въ электризаціи помощью индукціи отъ электризаціи треніемъ заключается, слѣдовательно, въ томъ, что на электризуемомъ тѣлѣ возникаютъ оба вида электричества и лишь до тѣхъ поръ, пока не удаленъ кондукторъ. Отведеніемъ съ проводника электричества, одноименнаго тому, которымъ заряженъ индукторъ, электризуютъ проводникъ противоположнымъ электричествомъ. По удаленіи индуктора тѣло остается наэлектризованнымъ. Количество электричества на кондукторѣ *K*, связываемое индукторомъ *A*, всегда является лишь частью всего количества электричества, находящагося на индукторѣ *A*.


Рис. 44.

Численный коэффиціентъ, показывающій отношеніе этихъ количествъ, выражается правильной дробью, предѣлъ которой есть 1. Этотъ коэффиціентъ возрастаетъ по мѣрѣ приближенія индуктора къ кондуктору и по мѣрѣ увеличенія поверхности индуктора, охватывающей кондукторъ. Нѣкоторой аналогіей можетъ служить приближеніе къ одному изъ концовъ кондуктора свѣчи: этотъ конецъ становится все болѣе свѣтлымъ, тогда какъ на противоположномъ тѣнь все болѣе усиливается. Чѣмъ ближе источникъ свѣта и чѣмъ больше охватываютъ его лучи освѣщаемое тѣло, тѣмъ меньшая часть послѣдняго остается неосвѣщенной.

§ 3. **Дѣйствіе экрана**. Для защиты кондуктора отъ вліянія индуктора достаточно поставить между ними жестяной листъ или проволочную сѣтку, соединенную съ землей. Произведемъ такой опытъ:

Около проводника, заряженнаго положительнымъ электричествомъ (рис. 45)), поставимъ электроскопъ. Листочки его разойдутся. Расположимъ теперь между индукторомъ и электроскопомъ металлическій экранъ на изолированной подставкѣ. Электроскопъ по прежнему обнаружитъ присутствіе электричества. Коснемся рукой экрана или соединимъ его съ землей; листочки электроскопа опадутъ.

Рис. 45.

Въ изолированномъ экранѣ положительное электричество индуктора связываетъ на ближайшей къ индуктору поверхности экрана

отрицательное электричество. Освободившееся положительное электричество располагается на противоположной сторонѣ экрана, дѣйствуя на электроскопъ. Если же отвести его въ землю, то вліяніе положительнаго электричества кондуктора и отрицательнаго электричества экрана на электроскопъ взаимно уничтожаются: онъ не обнаруживаетъ заряда.

§ 4. **Вліяніе изолирующей среды.** Непроводники (изоляторы) не уничтожаютъ индуктирующаго дѣйствія проводниковъ. Въ этомъ мы уже убѣдились въ предыдущихъ опытахъ, въ которыхъ воздухъ, не смотря на то, что онъ очень плохой проводникъ, не помѣшалъ намъ производить наблюденія. Раздѣляя индукторъ и индуктируемое тѣло слоями различныхъ непроводниковъ, нашли, что всѣ они препятствуютъ индукціи еще меньше, чѣмъ воздухъ. Напримѣръ, слой сѣры въ 3,8 см. толщины оказываетъ такое же дѣйствіе, какъ слой воздуха въ 1 см. Отношеніе толщины слоя какого-либо непроводника къ толщинѣ слоя воздуха, при которыхъ ихъ изолирующее дѣйствіе одинаково, носитъ названіе *діэлектрической постоянной даннаго непроводника.* Сами же непроводники называются *діэлектриками.* Діэлектрическая постоянная слюды будетъ 8, стекла отъ 4 до 7, сѣры 3,8, вулканизированнаго каучука 3,1, шеллака 1,6, масла отъ 2 до 5 и т. д.

Въ 1898 г. *Кёнъ* указалъ, что діэлектрики при треніи другъ о друга (§ 1) электризуются: имѣющій высшую постоянную положительно, а низшую отрицательно.

IV. Теченіе электричества.

§ I. **Представленіе о „движеніи“ электричества.** Мы неоднократно выражались, что при соприкосновеніи наэлектризованнаго и ненаэлектризованнаго тѣлъ часть электричества перваго тѣла *переходитъ* на второе. Формулировать происходящее явленіе такими словами можно лишь для краткости, въ дѣйствительности же при приближеніи проводника, заряженнаго, напр., положительнымъ электричествомъ, въ тѣлѣ появляется нѣкоторое количество X свободнаго положительнаго электричества, такъ какъ равное ему количество X отрицательнаго электричества связывается положительнымъ электричествомъ проводника (рис. 46).

Рис. 46.

Въ моментъ соприкосновенія электричество кондуктора нейтрализуется противоположнымъ по знаку, равнымъ ему количествомъ электричества проводника. Наэлектризованное тѣло теряетъ $+XE$, а кондукторъ $-XE$ электричества. Въ результатѣ количество электричества на проводникѣ стало на $+XE$ *меньше*, а на нейтральномъ до того тѣлѣ возбудилось такое же количество $+XE$. Явленіе произошло такъ, какъ будто бы $+XE$ электричество съ заряженнаго тѣла „*перешло*“ на кондукторъ.

§ 2. **Заряженіе электроскопа.** При прикосновеніи заряженнаго положительнымъ электричествомъ тѣла къ шарику электроскопа происходитъ то же явленіе: часть отрицательнаго электричества нейтрализуется положительнымъ электричествомъ тѣла, а освободившееся + электричество электроскопа раздвигаетъ листочки. Электроскопъ зарядился электричествомъ того же знака.

Чтобы зарядить электроскопъ электричествомъ, противоположнымъ по знаку электричеству тѣла, надо поднести къ нему послѣднее, не доводя до прикосновенія къ шарику. Если зарядъ тѣла положительный, то отрицательное электричество электроскопа свяжется на поверхности шарика, а положительное зарядитъ листочки, которые разойдутся. Коснувшись шарика электроскопа рукой, отведемъ свободное положительное электричество въ землю, а затѣмъ отставимъ въ сторону наэлектризованное тѣло. Освободившееся отрицательное электричество распространится по стержню и зарядитъ листочки.

§ 3. Вліяніе индуктора на заряженный электроскопъ. Возьмемъ электроскопъ, заряженный положительнымъ электричествомъ (рис. 47), и приблизимъ къ нему индукторъ, зарядъ котораго противоположенъ по знаку заряду электроскопа. Все положительное электричество электроскопа стянется на поверхность шарика, и листочки опадутъ. Продолжая приближать тѣло, наэлектризованное отрицательно, мы замѣтимъ, что листочки электроскопа вновь разойдутся. Это произойдетъ потому, что при достаточно близкомъ разстояніи индуктора отъ электроскопа, его отрицательный зарядъ свяжетъ новое количество положительнаго электричества электроскопа (сверхъ уже бывшаго на электроскопѣ свободнымъ положительнаго заряда), а освободившееся отрицательное электричество зарядитъ листочки (гл. I, § 5).

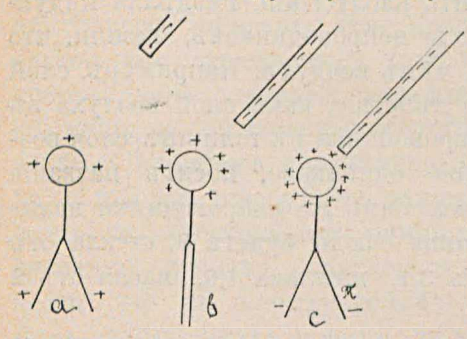
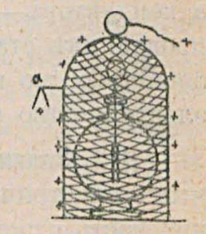


Рис. 47.

§ 4. Причина притяженія наэлектризованнымъ тѣломъ нейтральныхъ тѣлъ. Основываясь на описанныхъ опытахъ, можно объяснить, почему наэлектризованные янтарь, стекло и пр. притягиваютъ легкіе предметы. При приближеніи наэлектризованнаго тѣла къ нейтральному въ послѣднемъ подъ вліяніемъ индукціи появляются равныя количества ± электричества. Электричество, одноименное по знаку съ электричествомъ индуктора, стремится оттолкнуться отъ него, а электричество противоположнаго знака испытываетъ притяженіе. Такъ какъ это электричество располагается на поверхности тѣла болѣе близкой къ индуктору, то сила притяженія больше силы отталкиванія; слѣдовательно и равнодѣйствующая направлена къ индуктору. Это объясненіе дано въ 1760 г. *Эпинусомъ*.

V. Распредѣленіе электричества на поверхности проводника. Плотность электричества.

§ 1. Опытъ Фарадея. *Фарадей* въ 1839 г. показалъ, что электроскопъ, помѣщенный внутри металлической клѣтки, которая соединена съ источникомъ электричества, не заряжается (рис. 48). Электроскопъ въ этомъ опытѣ долженъ быть соединенъ съ внутренней поверхностью клѣтки, а къ ея наружной сторонѣ для обнаруживанія заряда прикрѣпляются листки станіоля или бумажныя ленточки *a*.


Рис. 48.

Изъ опыта вытекаетъ, что *въ проводникахъ электричество располагается по внѣшней поверхности*. Для подверждения этого вывода можно

продѣлать еще такіе опыты: 1) прикоснуться т. н. *пробнымъ кружкомъ* *) къ внутренней и внѣшней поверхности заряженнаго шарового полаго кондуктора, послѣдовательно затѣмъ поднося кружокъ къ электроскопу (опытъ *Кулона*, 1785 г.), 2) наложить на заряженный шаровой кондукторъ два металлическихъ полушарія съ изолированными ручками и быстро разнять ихъ (рис. 49); 3) прикрывъ шаръ полушаріями, зарядить ихъ, а затѣмъ снять съ шара (опыты *Кавендиша*, 1772 г.); 4) зарядить кондукторъ, имѣющій видъ сѣтчатаго колпака, и, убѣдившись, что зарядъ расположенъ на внѣшней поверхности, вывернуть его на изнанку помощью шелковой нити, укрѣпленной на вершинѣ (рис. 50). При этомъ зарядъ перейдетъ на поверхность, ставшую наружной, а внутри его не будетъ.



Рис. 49.

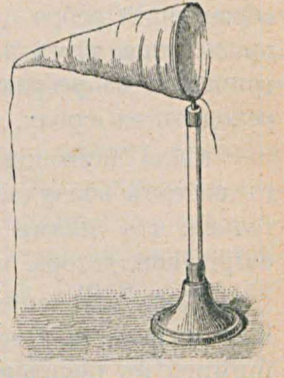


Рис. 50.

Въ первомъ опытѣ обнаружимъ, что пробный кружокъ заряжается лишь при прикосновеніи къ внѣшней поверхности, во второмъ, что зарядъ съ шара переходитъ на полушарія, и въ третьемъ, что шаръ остается незаряженнымъ.

§ 2. Распредѣленіе электричества на поверхностяхъ различной кривизны. Изслѣдуя помощью пробнаго кружка распредѣленіе электричества на поверхностяхъ, кривизна которыхъ различна, убѣждаемся, что распредѣленіе будетъ равномѣрнымъ лишь на шаровой поверхности. Кривизна шаровой поверхности во всѣхъ ея точкахъ одинакова.

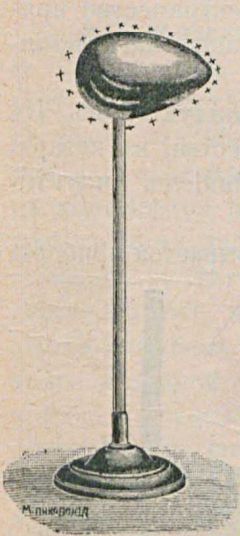


Рис. 51.

Гдѣ бы мы ни прикоснулись къ шаровому кондуктору пробнымъ кружкомъ, послѣдній всегда сниметъ съ него одинаковое количество электричества. Доказать это можно, касаясь заряженнымъ кружкомъ шарика электроскопа: листочки его будутъ расходиться каждый разъ на одинаковый уголъ.

Если же взять кондукторъ, кривизна поверхности котораго въ разныхъ точкахъ различна, то прикасаясь къ нему въ различныхъ точкахъ, обнаружимъ, что количество электричества на единицѣ поверхности на болѣе выпуклыхъ частяхъ больше, чѣмъ на менѣе выпуклыхъ (рис. 51). На вогнутыхъ же поверхностяхъ электричества можетъ и вовсе не оказаться. Листочки электроскопа расходятся на большій уголъ, если пробный кружокъ прикасался къ болѣе выпуклой части поверхности кондуктора.

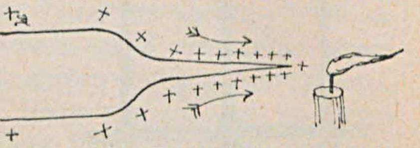
Количество электричества на единицѣ поверхности проводника называется плотностью электричества.

*) Металлическій кружокъ поверхностью въ 1 кв. см. на изолированной рукояткѣ.

Если количества электричество на кондукторѣ E, а поверхность кондуктора, выраженная въ кв. см.—S, то средняя плотность электричества можетъ быть выражена отношеніемъ $d = \frac{E}{S}$

§ 3. Плотность электричества на остріяхъ и ребрахъ. Чѣмъ меньше уголъ, образующій ребро двухъ поверхностей, чѣмъ острѣе выступъ на поверхности проводника, тѣмъ плотность электричества на нихъ больше. Количество электричества на ребрахъ можетъ быть такъ велико, что частью оно начинаетъ переходить въ среду, окружающую проводникъ,—истекать.

Сила движенія молекулъ газовъ, входящихъ въ составъ воздуха, при этомъ настолько значительна, что пламя свѣчи, поставленной вблизи острія кондуктора, отклоняется (рис. 52).


Рис. 52.

Такое истеченіе электричества называется *тихимъ разрядомъ*. Оно можетъ сопровождаться свѣтовыми явленіями, заключающимися въ появленіи слабаго свѣта, имѣющаго очертаніе кисти, когда происходитъ разрядъ положительнаго электричества, и сіянія, если разряжается отрицательное электричество. Движеніе воздуха при истеченіи электричества образуетъ т. н. *электрическій вѣтеръ*.

§ 4. Притяженіе электричества остріями. Соединяя незаряженный кондукторъ съ рядомъ металлическихъ остріевъ (гребней), приближаютъ къ нимъ тѣло, наэлектризованное, положимъ, отрицательно. Подъ вліяніемъ индукціи положительное электричество кондуктора перейдетъ на гребень, гдѣ плотность его возрастетъ настолько, что оно начнетъ истекать въ воздухъ. Оставшееся свободнымъ отрицательное электричество кондуктора распредѣлится по его поверхности и по удаленіи индуктора можетъ быть обнаружено. Явленіе произойдетъ такъ, какъ будто бы отрицательное электричество перешло, всосалось остріями съ индуктора на кондукторъ.

Когда въ дальнѣйшемъ намъ придется говорить, что „электричество притягивается остріемъ", или „истекаетъ съ острія", надо для правильнаго пониманія происходящаго явленія помнить указанные примѣры.

Въ обоихъ случаяхъ происходитъ потеря электричества кондукторомъ. Въ заряженномъ кондукторѣ теряется часть свободнаго электричества, въ незаряженномъ часть электричества, ставшаго свободнымъ подъ вліяніемъ индуктирующаго тѣла.

§ 5. Устройство и дѣйствіе электрофора. Электрофоромъ называется приборъ, служащій для полученія электричества помощью механической работы, т. е. для преобразованія энергіи механической въ электрическую. Онъ придуманъ знаменитымъ физикомъ *Вольтою* въ 1775 г. и состоитъ изъ каучуковаго круга *) K, металлическаго (или оклееннаго станіолемъ) круга S съ изолирующей ручкой и подставки A, сдѣланной изъ проводника (рис. 53—схема, 54 внѣшній видъ).

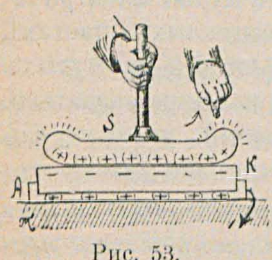
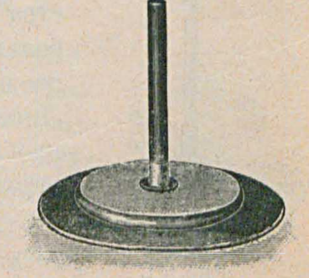


Рис. 53.


Рис. 54.

*) Т. е. не круга въ геометрическомъ смыслѣ, а плоской лепешки,—диска.

Для полученія электрическаго заряда ударяютъ мѣхомъ (лисьимъ хвостомъ) по кругу K, отчего въ немъ возбуждается отрицательное электричество. Этотъ зарядъ называется *основнымъ*. При опусканіи круга S на кругъ K возникшее подъ вліяніемъ индукціи положительное электричество круга S связывается на нижней поверхности, а ставшее свободнымъ отрицательное электричество собирается на верхней поверхности. Касаясь рукой верхней части круга, отводятъ отрицательное электричество, ощущая при этомъ характерный уколъ и вызывая появленіе искры. Если послѣ того поднять вверхъ кругъ S, то его положительное электричество, бывшее связаннымъ, станетъ свободнымъ и можетъ служить для заряда кондуктора. Такъ какъ, когда кругъ S касался K, положительное электричество подставки A ушло въ землю, то кругъ K продолжаетъ оставаться заряженнымъ отрицательнымъ электричествомъ. Зарядъ этотъ не распространится на нижнюю часть поверхности круга, такъ какъ кругъ сдѣланъ изъ непроводника.

Слѣдовательно, опытъ можно повторять многократно, не заряжая вновь круга K.

Дѣйствительно, положивъ S на K, возбудимъ въ нижней части S положительное электричество, собравшееся же въ верхней части отрицательное отведемъ рукой въ землю и т. д.

Преодолѣвая при поднятіи круга S взаимное притяженіе между положительнымъ электричествомъ на S и отрицательнымъ электричествомъ на K, затрачиваемъ нѣкоторый избытокъ механической работы по сравненію съ количествомъ ея (вѣсъ $S \times$ на высоту поднятія), нужнымъ, чтобы поднять ненаэлектризаванный кругъ.

Результатомъ этой механической работы является образованіе новаго количества свободнаго электричества.

VI. Электрическія машины.

§ I. Машина, развивающая электричество треніемъ. Еще *Герике*, въ 1653 г., желая получать помощью тренія возможно большія количества электричества, устроилъ простѣйшую электрическую машину. Въ первоначальномъ видѣ она состояла изъ сѣрнаго шара, отливавшагося внутри стекляннаго шара, который потомъ разбивался. Отлитый сѣрный шаръ насаживался на металлическую ось съ колѣнчатой рукояткой. При вращеніи рукоятки вращался и шаръ. Прижимая къ нему ладони, Герике достигалъ значительной электризаціи шара. Понадобилось 90 лѣтъ, для того, чтобы додуматься пользоваться самимъ стекляннымъ шаромъ, не заливая его сѣрой. Это сдѣлано лейпцигскимъ студентомъ *Лютцендорфомъ*, хотя говорятъ, что еще въ 1709 г. *Гауксби* въ Англіи пользовался машиной съ стекляннымъ цилиндромъ. Въ 1745 г. *Вильке* предложилъ особое приспособленіе для натиранія, а ранѣе того *Бозе* приспособилъ къ машинѣ Герике кондукторъ.

Въ 1755 г. стеклянный шаръ *Мартиномъ Планта* былъ замѣненъ стекляннымъ дискомъ (кругомъ). Внѣшній видъ, близкій къ современному, приданъ машинѣ въ 1768 г. *Рамаденомъ*.

Въ современномъ видѣ машина для полученія электричества путемъ тренія состоитъ: 1) изъ хорошо отшлифованнаго стекляннаго круга. 2) амальгами-

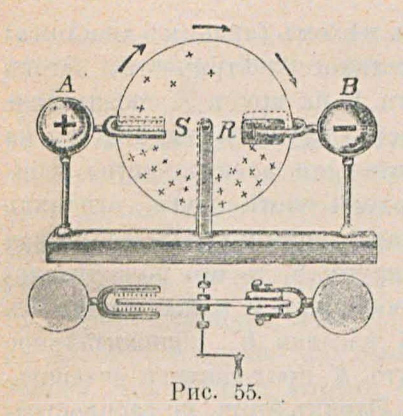


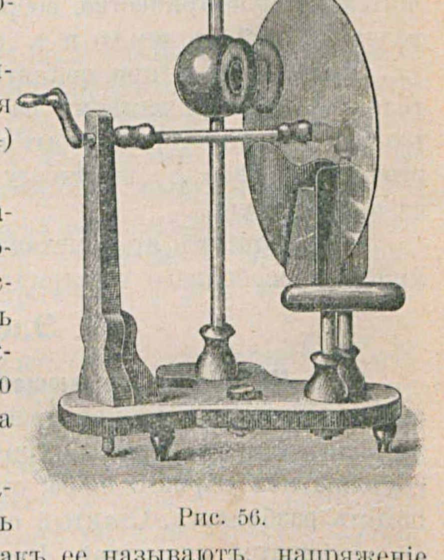
Рис. 55.

рованныхъ кожаныхъ подушекъ R, прижатыхъ металлической вилкой къ стеклянному кругу, 3) металлическихъ гребней S, острія которыхъ почти касаются круга, и, наконецъ, 4) двухъ кондукторовъ, изъ которыхъ A соединенъ проводникомъ съ гребнями, а B съ подушками (рис. 55).

Обтеревъ стеклянный кругъ машины тряпочкой, смоченной въ спиртѣ, для удаленія съ его поверхности пыли и влажности, начинаютъ вращать кругъ. Стекло при треніи объ амальгамированную *) кожу электризуется положительно, а подушки отрицательно.

Положительное электричество съ круга переходитъ на острія гребня, а оттуда на кондукторъ A до тѣхъ поръ, пока потенціалы ихъ не сравняются. Дальнѣйшее вращеніе машины будетъ безполезно: работа тренія преобразуется лишь въ теплоту. Отрицательное электричество подушекъ соберется на кондукторѣ B.

Оригинальную форму машинъ подобнаго типа придалъ *Винтеръ* (рис. 56), снабдивъ ее для усиленія заряда конденсаторомъ (см. гл. VIII, § 4) въ формѣ большого деревяннаго кольца.


Рис. 56.

§ 2. Разность потенціаловъ кондукторовъ машины. Достигнувъ своего maximum'а, разность потенціаловъ кондукторовъ для каждой электрической машины остается величиной постоянной. Чѣмъ она больше, тѣмъ машина лучше. Если кондукторъ A имѣетъ, напримѣръ потенціалъ +30,000 вольтъ, а B —30,000 вольтъ, то разность эта равна 60,000 вольтъ.

Если соединить одинъ изъ кондукторовъ машины съ землей, то потенціалъ другого выразитъ на электроскопѣ разность потенціаловъ, или, какъ ее называютъ, напряженіе машины (приблизительно измѣрить эту разность можно и безъ электроскопа— длиною искры).

Аналогіей могутъ служить два сосуда, разность уровней воды въ которыхъ равна, положимъ, a см. Какъ бы ни измѣнять высоту и вмѣстимость обоихъ сосудовъ, сила паденія воды изъ сосуда съ высшимъ уровнемъ въ сосудъ съ низшимъ уровнемъ будетъ одной и той же.

Вода переходитъ изъ сосуда съ высшимъ уровнемъ въ сосудъ съ низшимъ уровнемъ, а электричество течетъ по направленію отъ кондуктора съ большимъ потенціаломъ къ кондуктору съ меньшимъ. Въ обоихъ случаяхъ переходъ совершается независимо отъ количества по проводнику и до равенства уровней.

*) Составъ амальгамы данъ въ 1788 г. *Ф. Кинмейеромъ*: на 2 части ртути 1 ч. цинка и 1 ч. олова.

Въ послѣднемъ случаѣ (сравненіе потенціаловъ кондукторовъ, имѣющихъ разные потенціалы и соединенныхъ проводникомъ) явленіе аналогично сравненію температуръ воздуха въ двухъ комнатахъ, которое наступитъ черезъ нѣкоторый промежутокъ времени, какъ бы ни были различны размѣры комнатъ и соединяющей ихъ двери, если только она открыта.

§ 3. Индуктивная (электрофорная) машина. *Гольцъ* и *Теплеръ* въ 1865 г. впервые устроили практически удобную электрическую машину, основанную на электростатической индукціи. Системъ такихъ машинъ въ настоящее время много. Чтобы понять ихъ дѣйствіе, опишемъ электрофорную машину, главными частями которой будутъ: 1) вращающійся лакированный *) стеклянный кругъ, 2) расположенныя передъ нимъ двѣ грабли съ металлическими остріями, почти касающимися круга и соединенныя съ кондукторами K_1 и K_2 (рис. 57 схема и 58—внѣшній видъ), 3) бумажныя обкладки A и B, сзади круга. Концы ихъ оклеены staніолемъ и завернуты на переднюю поверхность круга такъ, что при вращеніи машины они трутся о стекло. Фактически, вмѣсто заворачиванія концовъ, соединяютъ съ обкладкой двѣ металлическихъ кисточки, натирающія вращающійся кругъ.

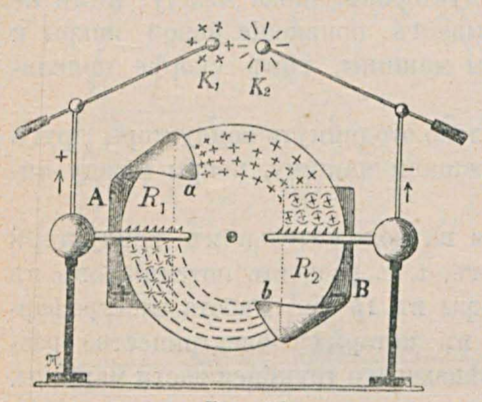
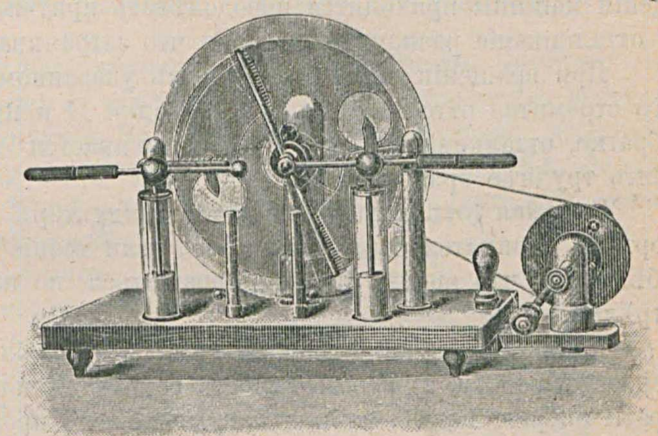


Рис. 57.


Рис. 58.

Касаясь одной изъ обкладокъ, напримѣръ A, тѣломъ, заряженнымъ положительно, придаютъ ей основной зарядъ. При первомъ же полуоборотѣ круга машины (противъ направленія часовой стрѣлки) въ обкладкѣ B возбуждается отрицательное электричество. Это происходитъ потому, что при заряженіи A положительнымъ электричествомъ, отрицательное электричество гребня связывается, освободившееся же положительное электричество переходитъ на кондукторъ K_1. При вращеніи круга отрицательное электричество черезъ острія гребня стекаетъ (гл. III, § 4) на кругъ, подвигающійся при вращеніи на полъ-оборота къ незаряженной еще обкладкѣ B.

При этомъ положительное электричество обкладки связывается, а отрицательное электричество становится свободнымъ.

При дальнѣйшемъ вращеніи на полный оборотъ зарядъ обкладки A усиливается, такъ какъ отрицательно заряженная обкладка B, въ свою очередь, воз-

*) Стекло гигроскопично, покрытіе его лакомъ уменьшаетъ этотъ недостатокъ.

буждаетъ одноименное электричество во второмъ гребнѣ, уходящее на кондукторъ K_2.

Стеклянный кругъ въ верхней половинѣ зарядится положительно, что усилитъ зарядъ обкладки *A* при подходѣ къ ней этой половины. Острія обкладки (щетки) притянутъ электричество съ круга.

Чѣмъ дольше будемъ вращать машину, тѣмъ больше будетъ возрастать потенціалъ обкладокъ, а слѣдовательно и кондукторовъ, пока между ними не проскочитъ искра. Продолженіе вращенія вызываетъ появленіе новой искры и т. д. Чѣмъ ближе другъ къ другу кондукторы машины, тѣмъ скорѣе появляются искры.

Въ каждой машинѣ можно настолько далеко отодвинуть кондукторы другъ отъ друга, что, какъ бы быстро и долго ни вращали машину, искры между ними проскакивать не будутъ.

Машины средней силы даютъ напряженія на положительномъ кондукторѣ + 30,000, а на отрицательномъ — 30,000 вольтъ, т. е. разность потенціаловъ въ 60,000 вольтъ, что соотвѣтствуетъ длинѣ искры въ 15 см. Работа электрофорныхъ машинъ продуктивнѣе работы машинъ, въ которыхъ электричество развивается отъ тренія, главнымъ образомъ нагрѣвающаго трущіяся части машины.

§ 4. Превращеніе механической работы въ электричество и обратно. При вращеніи машины приходится преодолѣвать притяженія одноименныхъ зарядовъ и и отталкиваніе разноименныхъ, на что затрачивается механическая работа.

При вращеніи круга машины въ указанномъ направленіи, верхняя часть его стремится оттолкнуться отъ обкладки *A* и приблизиться къ *B*; нижняя же обратно, отталкивается отъ *B* и притягивается къ *A*. Чѣмъ сильнѣе зарядъ, тѣмъ труднѣе вращать машину.

Заряжая (отъ другой машины) кондукторъ K_1 положительнымъ, а кондукторъ K_2 отрицательнымъ зарядомъ, если треніе въ машинѣ не велико, можно убѣдиться, что кругъ начнетъ вращаться по направленію движенія часовой стрѣлки.

Какъ при переходѣ работы въ теплоту наблюдается: 1) обратный переходъ тепла въ работу, 2) невозможность самостоятельнаго такого перехода, безъ затраты энергіи извнѣ, такъ и тутъ прекрасно проявляется основной законъ эквивалентности энергіи: механическая работа переходитъ въ электричество и обратно, возбужденное работой другой машины электричество преобразуется въ механическую работу.

§ 5. Самовозбуждающаяся машина Уимсхерста *). Рис. 59—60 (схема и общій видъ) представляютъ электрическую машину, не требующую первоначальнаго заряда. Она состоитъ изъ двухъ каучуковыхъ или стеклянныхъ круговъ, оклеенныхъ большимъ числомъ станіолевыхъ секторовъ и вращающихся по противоположнымъ направленіямъ. Поверхности круговъ касаются металлическія кисточки, — возбудители электричества, натирающія ихъ поверхность при вращеніи.

Для объясненія дѣйствія машины *Уимсхерста* **) вообразимъ для простоты круги въ видѣ цилиндровъ (рис. 61). Внутренній цилиндръ соотвѣтствуетъ

*) По укоренившейся транскрипціи: Вимшерстъ.

**) Нѣмцы не признаютъ пріоритета Уимсхерста въ устройствѣ самовозбуждающейся машины, приписывая его Теплеру.

переднему кругу, внѣшній — заднему. Вращеніе происходитъ по стрѣлкамъ. При вращеніи обкладки заряжаются отъ тренія слабымъ зарядомъ: пусть одна

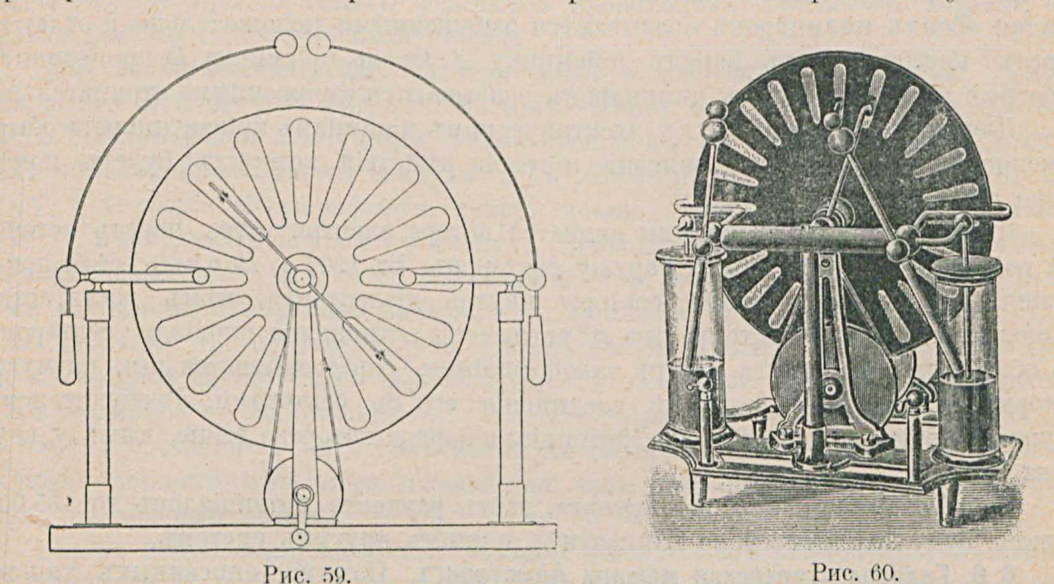


Рис. 59. Рис. 60.

изъ такихъ обкладокъ наружнаго цилиндра получила этотъ зарядъ (+) отъ тренія объ кисточку *a*.

Двигаясь дальше, она наконецъ придется какъ разъ противъ кисточки *c* и будетъ вліять своимъ зарядомъ на ту обкладку внутренняго цилиндра, которой въ этотъ моментъ касается кисточка *c*. Въ этой обкладкѣ вслѣдствіе индукціи отрицательное электричество будетъ связано положительнымъ наружной обкладки, а свободное положительное уйдетъ по діаметральному кондуктору и зарядитъ противоположную обкладку внутренняго цилиндра. Оставшійся отрицательный зарядъ будетъ переноситься дальше вмѣстѣ съ обкладкой и, дойдя до кисточки *a*, возбудитъ въ обкладкѣ наружнаго цилиндра, касающейся этой кисточки *a* въ данный моментъ, положительное электричество и свяжетъ его, а свободное отрицательное по діаметральному кондуктору перейдетъ и зарядитъ противоположную обкладку наружнаго цилиндра. Такимъ образомъ постепенно обкладки будутъ электризоваться все сильнѣе и сильнѣе, при чемъ обкладки наружнаго цилиндра будутъ переносить положительные заряды справа налѣво, а обкладки внутренняго цилиндра—отрицательныя въ обратную сторону. На нижнихъ частяхъ цилиндровъ будетъ происходить то же самое, только въ обратномъ порядкѣ, т. е. нижнія обкладки внутренняго цилиндра поне-

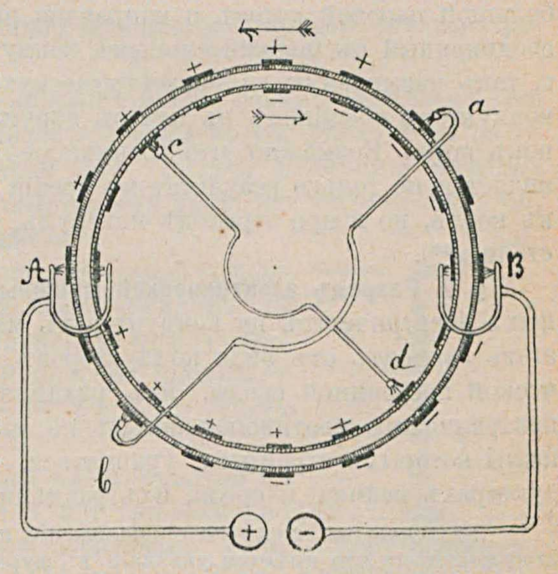


Рис. 61.

суть справа налѣво положительные заряды, а нижнія обкладки наружнаго цилиндра - отрицательные слѣва направо. Далѣе двигаясь мимо пріемника *A*, обкладки обоихъ цилиндровъ оказываются заряженными положительно и отдаютъ черезъ кисточку этотъ зарядъ пріемнику *A*. Около пріемника *B* происходитъ обратное: обкладки обоихъ цилиндровъ оказываются заряженными отрицательно.

Для усиленія дѣйствія къ электрическимъ машинамъ присоединяютъ обыкновенно лейденскія банки, описаніе и теорія дѣйствія которыхъ будетъ помѣщено ниже (гл. VI, § 10).

Недостаткомъ этой машины является потеря электричества черезъ истеченіе со стороны обращенныхъ наружу секторовъ. Въ 1907 г. *Воммельсдорфъ* предложилъ вводить заряжающіе секторы внутрь діэлектрика, чѣмъ достигается уменьшеніе утечки электричества и увеличеніе отношенія площади секторовъ къ общей площади круга. Кругъ такой машины спрессовывается изъ каучука, который вулканизируютъ послѣ соединенія его съ секторами. Возбудителемъ служитъ кругъ изъ целлулоида, потенціалъ заряда котораго выше, чѣмъ у каучука *).

Подобная машина, типа *Мерседесъ*, даетъ разность потенціаловъ до 135,000 вольтъ, будучи значительно компактнѣе машинъ другихъ системъ.

§ 6. Гидроэлектрическая машина Армстронга. Помимо описанныхъ типовъ электрическихъ машинъ существуютъ и другіе, не получившіе такого широкаго примѣненія въ практикѣ.

Изъ нихъ не безынтересно упомянуть о *гидроэлектрической машинѣ Армстронга*.

Было замѣчено (*Лавуазье*, 1780 г.), что паръ, выходящій подъ значительнымъ давленіемъ изъ парового котла, заряжается положительно, стѣнки же котловъ заряжаются отрицательно. Изолировавъ на стеклянныхъ подставкахъ небольшой паровой котелъ и направляя выпускаемый изъ него паръ на гребень, соединенный съ положительнымъ кондукторомъ, Армстронгъ устроилъ въ 1840 г. такъ называемую гидроэлектрическую машину. Отрицательно заряжающійся кондукторъ соединенъ въ ней съ наружной поверхностью металлическихъ стѣнокъ котла. Возможно, что возникновеніе въ ней разноименныхъ электричествъ является не только результатомъ тренія пара при выходѣ изъ узкихъ отверстій въ котлѣ, но и при переходѣ молекулъ воды изъ жидкаго въ газообразное состояніе **).

§ 7. Разрядъ электрической машины. Возрастаніе потенціаловъ разноименныхъ электричествъ на кондукторахъ машины имѣетъ свой предѣлъ. Предѣлъ этотъ зависитъ отъ вида кондукторовъ, ихъ взаимнаго разстоянія и діэлектрической постоянной среды, ихъ раздѣляющей. Нарушеніе предѣла вызываетъ нейтрализацію противоположныхъ по знаку электричествъ кондукторовъ, потенціалы которыхъ стремятся уравняться. Если плотность электричества на кондукторахъ велика и среда, ихъ раздѣляющая, не представляетъ значительнаго

*) Годомъ ранѣе сдѣлалъ предложеніе, пользоваться целлулоиднымъ кругомъ, авторъ этой книги, на что имѣется указаніе въ журналѣ „Физикъ-Любитель“ за 1906 .г

**) Формула воды H_2O относится, собственно говоря, къ парамъ воды. По *Оствальду* вода въ жидкомъ состояніи имѣетъ полимеризованную четырехкратную молекулу $(H_2O)_4$. Далѣе (часть III, гл. VI) мы увидимъ, что разложеніе молекулы какого-нибудь вещества сопровождается не только тепловыми, но и электрическими явленіями.

сопротивленія распространенію электричества, то происходитъ такъ называемый *тихій разрядъ*; при обратныхъ условіяхъ происходитъ *мгновенный разрядъ*, сопровождающійся электрической искрой.

§ 8. Электрическая искра. Электрическая искра—свѣтовое явленіе, сопровождающее мгновенный разрядъ. Ея путь—мѣсто наименьшаго сопротивленія среды, изолирующей кондукторы. Такой средой въ электростатическихъ машинахъ обыкновенно является воздухъ, а въ нѣкоторыхъ вибраторахъ (часть IV, гл. V, § 4) масло. Фотографируя искру, можно получить изображеніе такого пути *), выбираемаго искрой въ воздухѣ, проводимость котораго въ различныхъ мѣстахъ оказывается далеко не одинаковой, что зависитъ отъ присутствія въ немъ пылинокъ, пузырьковъ воды и т. п. лучшихъ проводниковъ, чѣмъ сухіе газы, входящіе въ составъ воздуха. *Цвѣтъ* искры зависитъ: a) отъ состава среды, въ которой происходитъ разрядъ, b) отъ вещества кондуктора. Въ азотѣ искра окрашена въ фіолетовый цвѣтъ; почти такой же ея цвѣтъ въ воздухѣ, по объему состоящемъ на $^4/_5$ изъ азота; въ водородѣ она красноватая. Между мѣдными кондукторами искра зеленоватая, такъ какъ пары мѣди окрашиваютъ пламя въ зеленый цвѣтъ.

Длина искры, какъ было уже указано, зависитъ отъ разности потенціаловъ кондукторовъ, а *сила* отъ количества электричества, нейтрализующагося въ моментъ появленія искры.

§ 9. Дѣйствія электрической искры. *a) Физіологическое.* Принимая на поверхность тѣла электрическую искру, мы испытываемъ характерное, весьма непріятное ощущеніе, становящееся болѣзненнымъ при возрастаніи ея силы и длины.

Искры значительнаго потенціала вызываютъ обмираніе и даже смерть (молнія). Различные люди далеко не одинаково чувствительны къ проходящему чрезъ ихъ тѣло разряду.

b) Механическое. Бумага и даже стекло пробивается искрой отъ электростатической машины.

c) Тепловое. Уже окрашиваніе искры парами металловъ, изъ которыхъ сдѣланы разряжающіеся кондукторы, указываетъ на ея высокую температуру. Искрой отъ средней величины машины легко зажечь эфиръ или свѣтильный газъ, что впервые было показано въ 1744 г. *Лудольфомъ*.

Тепловое дѣйствіе искрового разряда можно обнаружить на приборѣ, изображенномъ на рис. 62. При проскакиваніи искръ между кондукторами воздухъ внутри прибора нагрѣвается и расширяется, вытѣсняя воду въ узкую трубку.

Рис. 62.

d) Химическое. Дѣйствіе электрической машины всегда сопровождается ощущеніемъ особаго запаха, зависящаго отъ образованія озона (уплотненнаго кислорода, молекула котораго состоитъ не изъ 2-хъ, а изъ 3-хъ атомовъ). Заставляя ударять искру въ бумажку, смоченную смѣсью крахмальнаго клейстера

Рис. 63.

*) См. дополненіе въ концѣ книги.

и iодистаго калія, можно обнаружить образованіе озона по синему окрашиванію клейстера. Послѣднее зависитъ отъ разложенія озономъ iодистаго калія и выдѣленія свободнаго iода.

Пропуская искру черезъ гремучій газъ, вызываютъ взрывъ, сопровождающій образованіе воды изъ 2-хъ объемовъ водорода и 1-го объема кислорода.

§ 10. Тихій разрядъ. Когда противоположныя электричества, возбуждаемыя въ машинѣ, соединяются, не достигнувъ значительной разности потенціаловъ, то ихъ соединеніе не сопровождается появленіемъ искры. Это можетъ быть: a) когда машина окружена средой, сравнительно хорошо проводящей электричество, b) когда кондукторы оканчиваются остріями. Въ этомъ случаѣ плотность электричества быстро возрастаетъ и уже при незначительномъ напряженіи происходитъ такъ называемое истеченіе электричества въ окружающую среду. Неудача опытовъ съ машиной, покрытой пылью или находящейся въ сыромъ помѣщеніи, объясняется невозможностью получить искру въ виду происходящаго тихаго разряда въ средѣ, хорошо проводящей элекричество. Такое истеченіе электричества обнаруживается вращеніемъ электрическаго колеса (рис. 63) въ направленіи обратномъ направленію отогнутыхъ остріевъ, когда оно соединено съ кондукторомъ работающей машины.

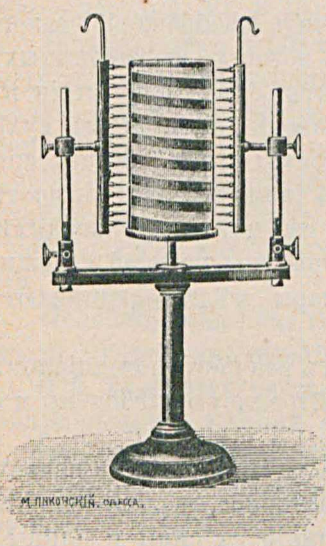


Рис. 64.

Соединяя кондукторъ машины съ мельницей *Франклина*, изображенной на рис. 64, и вращая кругъ машины, приводятъ при помощи тихаго разряда въ движеніе свободно вращающійся между остріями стеклянный цилиндръ по направленію обратному истеченію электричества изъ остріевъ.

VII. Гроза и громоотводъ.

§ 1. Электрическое состояніе атмосферы. Воздухъ, окружающій землю, какъ показалъ *Лемонье* въ 1752 году, нормально является заряженнымъ положительно. Зарядъ этотъ почти незамѣтенъ надъ поверхностью земли и возрастаетъ въ верхнихъ слояхъ.

Для доказательства прикасаются шарикомъ электроскопа къ вертикально укрѣпленному металлическому шесту, изолированному отъ земли.

Листочки электроскопа расходятся тѣмъ больше, чѣмъ выше шестъ. То же происходитъ при поднятіи самого электроскопа помощью воздушнаго змѣя или аэростата. Лѣтомъ зарядъ менѣе силенъ, чѣмъ зимой.

Сѣверное сіяніе (сполохи)—оптическое явленіе въ верхнихъ слояхъ атмосферы, наблюдаемое въ арктическихъ областяхъ и отличающееся несравненной красотой. *Де-ля-Ривъ* объяснялъ ихъ тихимъ разрядомъ между землей и верхними слоями атмосферы. Такъ какъ и вблизи полярнаго круга появляются такія же сіянія, то названіе ихъ *полярными* болѣе точно. Появленіе сіяній подвержено нѣкоторой періодичности, находящейся въ связи съ періодичностью появленія солнечныхъ пятенъ. Лучи сіяній совпадаютъ съ направленіемъ силовыхъ линій магнитнаго поля земли, а появленію сіяній предшествуютъ маг-

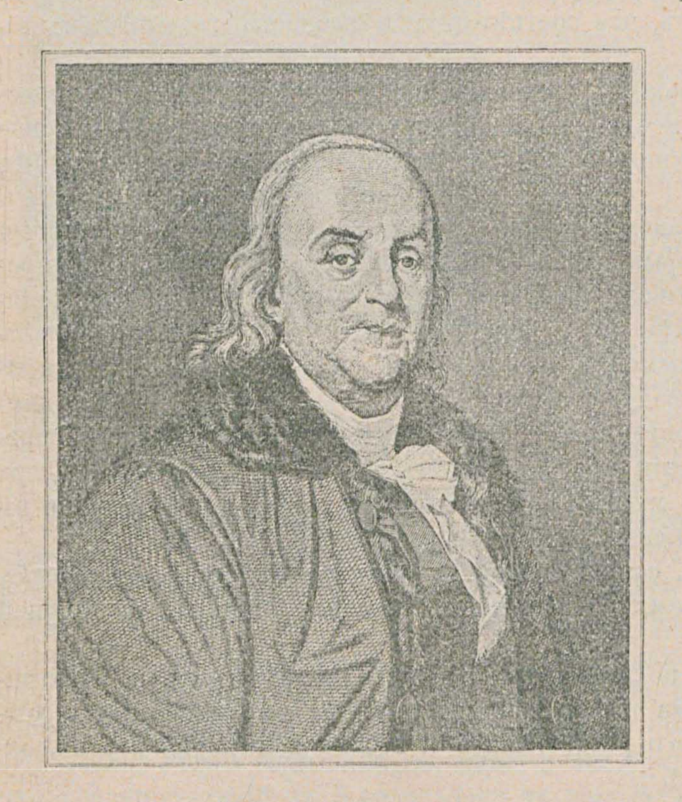
нитныя бури. Это указываетъ намъ на связь магнитныхъ и электрическихъ явленій, обнаруженную впервые *Галеемъ* въ 1716 году. Эта связь обнаружится еще тѣснѣе при дальнѣйшемъ ихъ изученіи (час. III, гл. 3 и ч. IV, гл. 1).

Въ 1882 г. гельсингфорскій профессоръ *Лемстремъ* воспроизвелъ полярное сіяніе, соединяя высокіе заостренные шесты между собою и съ землею проводникомъ. Въ проводникѣ обнаружено было теченіе электричества въ землю, а надъ шестами лучи сіянія. Другое явленіе, тоже подобное воспроизведенному, нерѣдко наблюдается въ природѣ, особенно на высокихъ горахъ, и носитъ названіе *огней св. Эльма.*

Когда разность потенціаловъ земли и воздуха достигаетъ значительной величины, то съ предметовъ, имѣющихъ возвышенныя части поверхности и соединенныхъ съ землей, „стекаетъ" въ воздухъ отрицательное электричество земли. Вершины деревъ, клотики мачтъ, уши лошадей и пр. окружаются блѣднымъ сіяніемъ. Это сіяніе похоже на то, которое является при тихомъ разрядѣ электрической машины на остріѣ кондуктора *).

§ 2. Гроза. Когда температура воздуха понижается, то пары воды, бывшіе въ немъ растворенными, концентрируются и образуютъ облака.

Облака имѣютъ обыкновенно зарядъ значительно выше заряда окружающаго ихъ воздуха. Потенціалъ облака тѣмъ болѣе разнится отъ потенціала земли, чѣмъ суше (сухой воздухъ— плохой проводникъ) слой воздуха между нимъ и землей.



Веніаминъ Франклинъ.

Еще въ 1700 г. *Волль* сравнивалъ электрическую искру и трескъ, сопровождающій ея появленіе, съ молніей и громомъ.

Въ 1748 г. *Нолле* указалъ, что гроза представляетъ явленіе атмосфернаго электричества.

Франклинъ считается первымъ, обнаружившимъ присутствіе свободнаго электричества въ облакахъ. Въ 1752 г. онъ впервые свелъ электричество изъ облаковъ на землю.

Въ ознаменованіе этого событія на его памятникѣ выбита надпись: „eripuit coelo fulmen" — „молнію отнялъ у неба".

Пуская воздушный змѣй

*) Современное воззрѣніе на причины атмосфернаго электричества требуетъ отъ читателя знакомства съ явленіями, описанными лишь въ IV части книги, почему изложеніе ихъ вынесено въ особое дополненіе въ концѣ книги.

съ желѣзнымъ стержнемъ, Франклинъ помощью влажнаго шнура соединилъ летавшій подъ облаками змѣй съ металлическимъ проводникомъ и извлекъ изъ послѣдняго сильную искру.

Почти одновременно съ Франклиномъ *Делибаръ* и *Робасъ*, независимо отъ него и другъ отъ друга, дѣлали опыты полученія электричества изъ грозовыхъ облаковъ. Робасъ сообщилъ о своемъ проектѣ получать атмосферное электричество при помощи змѣя съ металлическимъ шестомъ и отводомъ во французскую академію, но проектъ не былъ обнародованъ академиками, почему Рабасъ и не могъ доказать своего пріоритета въ этомъ открытіи.

Повтореніе этихъ опытовъ въ измѣненной формѣ петербургскимъ ученымъ *Г. Рихманомъ* въ 1753 г. окончилось смертью послѣдняго. Рихманъ вывелъ надъ крышей зданія металлическій шестъ, нижній конецъ котораго помѣщался въ комнатѣ и служилъ источникомъ атмосфернаго электричества. Производя опыты во время сильной грозы, Рихманъ былъ убитъ молніей, проникшей по шесту внутрь дома.

Франклинъ обнаружилъ также, что потенціалъ облаковъ можетъ быть и отрицательнымъ. Разность потенціаловъ облаковъ, находящихся на разныхъ высотахъ, или облаковъ и земли, достигая громадныхъ степеней, вызываетъ разрядъ черезъ слой изолятора. Искра этого разряда и есть молнія, длина которой бываетъ нѣсколько километровъ, что соотвѣтствуетъ разности потенціаловъ въ десятки билліоновъ вольтъ.

Громъ, сопровождающій молнію, лишь по силѣ звука отличается отъ треска, слышнаго при полученіи искры отъ электрической машины. Это звуковое явленіе только въ 1904 г. получило наиболѣе правдоподобное объясненіе, данное *Таубриджемъ*.

Мы узнаемъ далѣе, что электричество разлагаетъ воду на ея составныя части (ч. III, гл. VI, § 2), которыя вновь соединяются со взрывомъ при прохожденіи искры. Увеличеніе объема (при разложеніи водяныхъ паровъ, находящихся въ воздухѣ) и уменьшеніе (при обратномъ ихъ соединеніи) слѣдуютъ одно за другимъ почти одновременно. Это измѣненіе объемовъ вызываетъ прямое и обратное перемѣщеніе воздуха, окружающаго мѣсто взрыва. Такое движеніе воздуха образуетъ звуковую волну значительной силы. По разности времени между появленіемъ молніи и достиженіемъ до слуха громового удара можно судить о разстояніи до мѣста грозы. Чтобы выразить это разстояніе въ метрахъ, умножаютъ число секундъ указанной разности на 330 *).

§ 3. Виды молніи. Молнія, сопровождаемая громомъ, кажется *зигзагообразной* и изображается художниками на картинахъ ломанной линіей, состоящей изъ отдѣльныхъ прямыхъ.

Фотографическіе снимки показываютъ, что путь молніи, какъ и электрической искры, извилистый. Она выбираетъ направленіе въ зависимости отъ проводимости среды, чаще всего развѣтвляясь и весьма напоминая корень, окруженный корешками (рис. 65).

Разсѣянная молнія не сопровождается громомъ и происходитъ между облаками, которыя какъ бы мгновенно вспыхиваютъ.

---

*) Скорость звука 330 м. въ 1 секунду.

Шаровая молнія производитъ впечатлѣніе матеріальнаго шара. Упавъ въ комнату черезъ окно или трубу, она двигается по разнымъ направленіямъ и, натолкнувшись на препятствіе, какъ бы взрываетъ, производя страшное опустошеніе.

На рис. 66 представлена крайне рѣдкая фотографія такой молніи. Общепризнаннаго объясненія этому явленію не дано. Профессоръ *Н. А. Гезехусъ* считаетъ ее результатомъ горѣнія азота воздуха въ его кислородѣ.

Рис. 65.

Дѣйствіе молніи таково же, какъ всякой электрической искры, но въ соотвѣтственно большемъ масштабѣ. Человѣкъ, пораженный молніей, или возвратнымъ ударомъ (разрядомъ отъ земли къ облаку, имѣющему потенціалъ отрицательный), убивается на мѣстѣ; если же онъ остается въ живыхъ, то зачастую дѣлается калѣкой. Особенно опасно во время грозы находиться вблизи возвышенныхъ и хорошо проводящихъ электричество предметовъ, не соединенныхъ съ землей.



Рис. 66.

Механическое дѣйствіе молніи громадно: она раскалываетъ столѣтнія деревья и перемѣщаетъ на значительное разстояніе предметы въ сотни пудовъ вѣсомъ. Исторія сохранила намъ описаніе случаевъ удара молніи, вызвавшихъ значительныя разрушенія и убытки. Такъ, напримѣръ, въ 1769 г., въ Ломбардіи, молнія ударила въ колокольню города Брешіи. На бѣду подъ колокольней помѣщался пороховой магазинъ, въ которомъ хранилось чуть ли не 50.000 пуд. пороха. Въ результатѣ взрыва была гибель болѣе 3.000 жителей и разрушеніе половины зданій города! Въ 1807 г. молнія взорвала складъ пороха въ Люксембургѣ, при чемъ были разрушены дома, окружавшіе складъ, и убито около 250 человѣкъ. Такихъ примѣровъ въ городскихъ хроникахъ XVII и XVIII вѣка можно найти не мало. Въ нашихъ широтахъ ежегодно молнія убиваетъ въ среднемъ 1 человѣка на 200—300 тысячъ жителей. Въ тропическихъ странахъ грозы гораздо величественнѣе и разрушительнѣе. Уничтоженіе въ какой-либо мѣстности лѣсовъ увеличиваетъ опасность пораженія молніей. Города, имѣющіе обширную телефонную сѣть и сѣть другихъ проводовъ электричества, защищаются ими, какъ отдѣльныя зданія сѣтью Мельсано (см. слѣд. § 4). Статистика показываетъ, что случаи ударовъ молніи въ 5 разъ рѣже въ городахъ, снабженныхъ сѣтью электрическихъ проводовъ, чѣмъ въ городахъ, не имѣющихъ телефона или электрическаго освѣщенія. Даже число грозъ въ такихъ городахъ вдвое больше, чѣмъ въ защищенныхъ сѣтью: сѣть предупреждаетъ образованіе грозы, замѣняя ее такъ наз. „тихимъ разрядомъ".

§ 4. Громоотводъ. То обстоятельство, что молнія представляетъ гигантскую электрическую искру, натолкнуло Франклина въ 1749 г. на мысль устроить приборъ, нейтрализующій ея разрушительное дѣйствіе. Мысль объ устройствѣ такого прибора (совершенно неправильно именуемаго *громоотводомъ*) была, однако, не нова.

Еще въ древнемъ Египтѣ громоотводы устанавливались надъ высокими зданіями. Другіе народы древности также умѣли ими пользоваться. Такъ, медикъ Артаксеркса, *Ксезіасъ* (400 л. до Р. Х.), пишетъ, что индусы отклоняютъ удары молніи высокими желѣзными шестами, воткнутыми въ землю. Подобныя же свидѣтельства встрѣчаются у *Плинія*, *Плутарха* и др. писателей древности. Въ 1755 году чешскій священникъ *П. Дивишъ* установилъ громоотводъ надъ своимъ жилищемъ, но былъ принужденъ снять его, такъ какъ суевѣрные крестьяне видѣли въ приборѣ причину засухи.

Франклинъ установилъ свой первый громоотводъ въ Филадельфіи надъ домомъ одного знакомаго въ 1760 г. Не смотря на оппозицію многихъ ученыхъ, считавшихъ громоотводы опасными, изобрѣтеніе быстро распространилось.

Какъ бы для болѣе вѣсскаго подтвержденія необходимости громоотвода молнія въ 1782 г. сожгла зданіе французскаго консульства въ Филадельфіи, не имѣвшее этой защиты.

Громоотводъ состоитъ изъ 3-хъ главныхъ частей: 1) металлическихъ остріевъ, укрѣпленныхъ на возвышенныхъ частяхъ строеній, вершинахъ трубъ, мостовъ и пр., 2) проводника изъ толстой мѣдной проволоки и 3) соединеннаго имъ съ остріемъ разрядника въ видѣ металлическихъ листовъ, закопанныхъ въ землю или опущенныхъ въ воду (рис. 67). Роль громоотвода двоякая: 1) способствовать тихому разряду (дѣйствіе остріевъ), 2) если молнія все же ударитъ, то направить ее по мѣсту наименьшаго сопротивленія, въ землю, или въ воду.

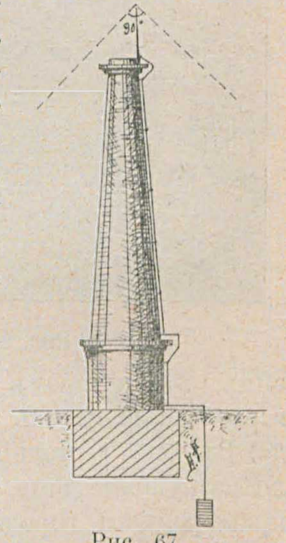


Рис. 67.

Шестъ устанавливаютъ на наиболѣе возвышенной части зданія, разрядникъ закапываютъ въ землю (техническій терминъ: „заземляютъ“), а проводникъ проводятъ по стѣнѣ зданія, наблюдая, чтобы нигдѣ по длинѣ его не было разрыва. Необходимо имѣть въ виду, что при недостаточно тщательномъ соединеніи частей громоотвода между собой и землею опасность пораженія зданія молніей не только не уменьшается, но даже увеличивается. Поэтому ежегодно весною необходимо тщательно провѣрять прочность соединенія частей прибора и ихъ приводимость для электрическаго тока.

Верхъ желѣзнаго шеста громоотвода увѣнчивается мѣднымъ наконечникомъ съ платиновымъ остріемъ. Толщина шеста берется не менѣе 2 см.; высота зависитъ отъ формы кровли зданія: чѣмъ больше ея поверхность, тѣмъ выше долженъ быть шестъ.

Проводъ дѣлается изъ сплошного мѣднаго стержня діаметромъ въ 1 см. или, что болѣе раціонально, изъ проволочнаго кабеля. Толщина отдѣльныхъ проволокъ, изъ которыхъ сплетается кабель, не менѣе 1 мм., общій же діаметръ

кабеля 1,5 см. Иногда для удешевленія берутъ желѣзный проводникъ, но такъ какъ желѣзо хуже проводитъ электричество, чѣмъ мѣдь, то отдѣльныя проволоки дѣлаются въ этомъ случаѣ діаметромъ въ 4 мм., а весь кабель въ 3 см. При проводникахъ меньшаго сѣченія, имѣющихъ большее сопротивленіе, молнія можетъ расплавить кабель, уничтоживъ тѣмъ самымъ дѣйствіе громоотвода.

Что касается до пластины, то она берется мѣдная или желѣзная оцинкованная: ей придаютъ размѣры 1×0,5 кв. метра и 2 мм. толщины для мѣдной, 5 для желѣзной. Во избѣжаніе отравленія колодезной воды мѣдную пластину остерегаются закапывать вблизи колодца, а тѣмъ болѣе опускать въ него, какъ это дѣлаютъ съ желѣзной.

Пространство, охраняемое громоотводомъ, имѣетъ форму конуса, вершина котораго совпадаетъ съ остріемъ громоотвода, а уголъ при вершинѣ равенъ прямому. Металлическія части зданія (кровли, водопроводныя и газопроводныя трубы) должны быть соединены съ громоотводомъ.

Шестовые громоотводы устанавливаются въ настоящее время преимущественно на заводскихъ трубахъ, башняхъ, колокольняхъ и мачтахъ судовъ, а жилыя и фабричныя зданія предпочитаютъ охранять громоотводами *Мельсано.*

Извѣстно (гл. V, § 1), что электроскопъ, помѣщенный внутри металлическаго сѣтчатаго колпака, не обнаруживаетъ электрическаго заряда при заряженіи сѣти: весь зарядъ располагается на ея внѣшней сторонѣ, не проникая внутрь окруженнаго ею пространства. Соединивъ эту сѣть съ землей, можно отвести весь зарядъ въ землю. Громоотводъ Мельсано представляетъ именно такую сѣть, защищающую зданіе (рис. 68). Сѣть состоитъ изъ ряда тонкихъ проволокъ, связанныхъ другъ съ другомъ и облегающихъ архитектурныя формы зданія. Нижніе концы ихъ „заземлены“, какъ и въ громоотводѣ Франклина, а вмѣсто отдѣльныхъ шестовъ на всѣхъ возвышающихся частяхъ зданія проволоки снабжены полушаріями изъ иглъ, соединенныхъ основаніями между собою. Эти небольшія по размѣрамъ полушаровыя щетки не бросаются въ глаза и не портятъ общаго вида зданія, а будучи вызолочены и со вкусомъ расположены, могутъ даже служить архитектурнымъ украшеніемъ *).

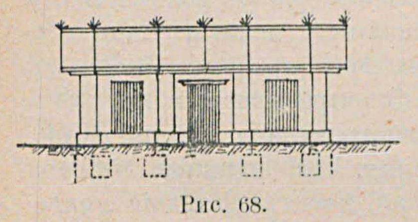


Рис. 68.

VIII. Конденсація электричества.

§ 1. Максимумъ потенціала электрическихъ машинъ. Мы уже видѣли, что, какъ въ каучуковой палочкѣ, такъ и въ самыхъ усовершенствованныхъ электрическихъ машинахъ, треніемъ нельзя достичь повышенія потенціала выше опредѣленнаго уровня.

Электричество, возбуждаемое треніемъ, лишь до тѣхъ поръ переходитъ на кондукторъ, пока потенціалъ его не достигнетъ опредѣленнаго maximum'а, а далѣе вся работа тренія будетъ переходить лишь въ теплоту. Можно одной и той

*) Описаніе громоотводовъ, охраняющихъ сѣть электрическихъ проводовъ, требуетъ знакомства съ законами электрическаго тока, почему и приведено въ особомъ дополненіи въ концѣ книги.

же машиной зарядить тысячи кондукторовъ, каковы бы они ни были по величинѣ и формѣ, но потенціалъ ихъ не станетъ выше разности потенціаловъ машины. Аналогично этому въ кипящей при нормальномъ давленіи водѣ нельзя нагрѣть тѣло выше 100°, каковы бы ни были его размѣры. Однако не надо думать, что кондукторы не могутъ вмѣстить большее количество электричества, чѣмъ можетъ перейти на нихъ съ машины.

Опытнымъ путемъ удалось конденсировать—сгустить электричество на поверхности кондуктора до значительно большей плотности, т. е., не увеличивая поверхности проводника, увеличить количество электричества, собирающагося на немъ. Приборы, служащіе для этой цѣли, носятъ названіе *конденсаторовъ*, а кондукторъ, на которомъ собирается электричество, *коллектора*.

§ 2. Электроемкость. Чтобы повысить потенціалъ разныхъ кондукторовъ на одну и ту же величину, надо зарядить ихъ различными количествами электричества. Подобно тому какъ равныя массы различныхъ тѣлъ: воды, ртути, воздуха и проч. для повышенія температуры на 1° С требуютъ различныхъ количествъ тепла, такъ, независимо отъ вещества, изъ котораго сдѣланы, кондукторы, сообразно величинѣ ихъ поверхности, требуютъ различныхъ количествъ электричества для повышенія ихъ потенціала на 1 вольтъ *).

Какъ теплоемкость измѣряется количествомъ тепла, необходимымъ для повышенія температуры на 1° С, такъ и электроемкость измѣряется количествомъ электричества, необходимаго для повышенія потенціала на 1 вольтъ. Единицею теплоемкости служитъ теплоемкость 1-го килограмма воды, требующаго для повышенія температуры на 1° С одну калорію тепла. Электроемкость кондуктора, потенціалъ котораго повышается на 1 вольтъ отъ одного кулона электричества, перенесеннаго на его поверхность, принята за единицу. Эта единица названа *фарадомъ*. Электроемкость, въ милліонъ разъ меньшая, носитъ названіе *микрофарада*.

Зная количество электричества, которымъ заряженъ кондукторъ, и его потенціалъ, не трудно опредѣлить электроемкость кондуктора: ***емкость есть частное отъ дѣленія количества электричества, выраженнаго числомъ кулоновъ, на потенціалъ, выраженный въ вольтахъ:*** $C = \frac{m}{v}$.

Если, напримѣръ, машина, разность потенціаловъ которой 50,000 вольтъ, передала кондуктору 30.000 LE (0,001 кулона), то для повышенія потенціала кондуктора на 1 вольтъ пошло бы $\frac{0{,}001}{50{,}000} = 0{,}0000002$ кулона; слѣдовательно, электроемкость кондуктора равна 0,2 микрофарада.

§ 3. Зависимость электроемкости отъ величины поверхности кондуктора. Мы уже видѣли, что, чѣмъ больше поверхность кондуктора, тѣмъ большее количество электричества нужно для повышенія его потенціала до опредѣленной степени. Если формы поверхностей, ограничивающихъ кондукторы, подобны, то количества эти возрастаютъ въ опредѣленной зависимости отъ формы и величины поверхностей. Для шаровыхъ поверхностей возрастаніе емкости прямо пропорціонально возрастанію радіуса.

---

*) Еще сравненіе: чѣмъ больше закрытый сосудъ, тѣмъ большее количество газа надо въ него ввести, чтобы повысить упругость этого газа на 1 атмосферу.

Электроемкость шарового кондуктора, радіусъ котораго 1 см., равна $\frac{1}{300}$ LE. При увеличеніи радіуса въ *r* разъ во столько же возрастетъ электроемкость кондуктора: $C=\frac{1}{300}.$ LE . r.

Зная потенціалъ и электроемкость двухъ кондукторовъ, можно вычислить потенціалъ, который они примутъ, будучи соединены проводникомъ. Мы уже знаемъ, что потенціалы ихъ сравняются, а теперь можемъ вычислить и величину общаго потенціала. Если, напр., потенціалъ 1-го кондуктора+15,000 вольтъ, а электроемкость $\frac{7}{300}$LE (напр., шарового кондуктора, радіусъ котораго 7 см.), а 2-го кондуктора+3.000 вольтъ и $\frac{2}{300}$LE, то общее количество электричества до соединенія кондукторовъ проводникомъ:

$$\left(\frac{7}{300}.15.000+\frac{2}{300}.3.000\right) \text{LE}=370 \text{ LE}.$$

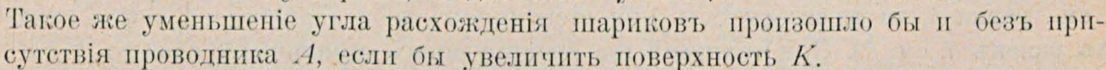
Такъ какъ послѣ соединенія кондукторовъ количество электричества на нихъ не измѣнится, а потенціалы сравняются, то:

$$\left(\frac{7}{300}X+\frac{2}{300}X\right)\text{LE}=370 \text{ LE}, \text{ откуда общій потенціалъ } X = 12333 \text{ вольтъ}.$$

§ 4. Возрастаніе электроемкости въ зависимости отъ индукціи. Если вблизи кондуктора *К* (рис. 69) находится противоположно заряженный проводникъ *А*, то электроемкость кондуктора *К* возрастаетъ.

Это происходитъ потому, что часть заряда кондуктора связывается противоположнымъ зарядомъ проводника: количество свободнаго электричества на *К* уменьшается, а слѣдовательно уменьшается и потенціалъ. Шарики электрическаго маятника, соединеннаго съ кондукторомъ, падаютъ на уголъ β.

Рис. 69.



Такое же уменьшеніе угла расхожденія шариковъ произошло бы и безъ присутствія проводника *А*, если бы увеличить поверхность *К*.

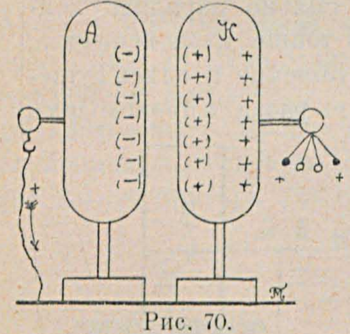


Рис. 70.

Такимъ образомъ приближеніе *А* къ *К* дѣйствуетъ такъ, какъ будто поверхность, а слѣдовательно и электроемкость, *К* возрастаетъ.

Возрастаніе электроемкости наблюдается и тогда, когда къ кондуктору *К*—*коллектору* приблизить проводникъ, соединенный съ землею,—*конденсаторъ* *А* (рис. 70). Такимъ конденсаторомъ можетъ служить стѣна комнаты, въ которой производится опытъ, или даже ладонь руки, обращенная къ кондуктору, соединенному съ электрической машиной, кольцо въ машинѣ Винтера (гл. VI, § 1).

Положимъ, что коллекторъ *К* заряженъ положительно и что количество электричества, на немъ находящееся, равно$+e$.

Приблизивъ къ нему конденсаторъ *А*, мы свяжемъ на ближайшей сторонѣ послѣдняго нѣкоторое количество отрицательнаго электричества$-x$. Такое же количество положительнаго электричества$+x$ освободится на противоположной сторонѣ конденсатора и уйдетъ въ землю.

Въ зависимости отъ коэффиціента связыванія количество электричества x составляетъ большую или меньшую часть всего количества электричества e, находившагося на коллекторѣ. Обозначивъ коэффиціентъ связыванія черезъ m, найдемъ, что $x=me$.

Зарядъ$-x$ электричества конденсатора оказываетъ на емкость коллектора совершенно такое же вліяніе, какъ если бы къ конденсатору былъ поднесенъ проводникъ, предва

рительно заряженный такимъ же количествомъ—x электричества. Этотъ зарядъ будетъ удерживать на ближайшей сторонѣ коллектора нѣкоторое количество положительнаго электричества y, равное mx.

Такъ какъ $x=me$, то слѣдовательно $y=m^2e$. Изъ бывшаго на коллекторѣ количества свободнаго положительнаго электричества e часть y окажется связанной, а свободной останется лишь часть z, равная $e-y$.

Подставляя прежнія обозначенія, найдемъ, что $z=e-m^2e=e\ (1-m^2)$.

Въ этой формулѣ величина m есть правильная дробь, выражающая коэффиціентъ связыванія и зависящая отъ формы разстоянія конденсатора отъ коллектора.

Отношеніе количества электричества e къ оставшемуся свободнымъ z покажетъ степень конденсаціи. Очевидно, что оно выразится отвлеченнымъ числомъ δ, большимъ единицы:

$$\frac{e}{z}=\frac{e}{e(1-m^2)}=\frac{1}{1-m^2}=\delta.$$

Если, напримѣръ, $m=0,9$, то $\delta\cong5,3$. Кондукторъ пріобрѣтаетъ емкость, во столько разъ большую, какъ будто онъ увеличился линейно въ 5,3 раза.

Приближеніе A къ K въ цѣляхъ увеличенія этого отношенія имѣетъ, понятно, свой предѣлъ. При достаточной величинѣ приближенія свободныя разноименныя электричества A и K соединятся. Чтобы по возможности замедлить такой разрядъ и сдѣлать его болѣе сильнымъ, отдѣляютъ A отъ K изоляторомъ и сближаютъ коллекторъ и конденсаторъ большими поверхностями. Напомнимъ (гл. III, § 4), что толщина изолирующаго слоя между A и K зависитъ отъ діэлектрической постоянной изолятора. Обратно, при той же толщинѣ слоя емкость кондуктора увеличивается съ увеличеніемъ діэлектрической постоянной изолятора.

Если емкость, при слоѣ воздуха между кондукторомъ и коллекторомъ въ 1 см., равна δ, то та же емкость при стеклянномъ изоляторѣ будетъ, когда слой его равенъ 7 см. *). При толщинѣ же изолирующаго стекляннаго слоя въ 1 см. емкость будетъ 7 δ. Такимъ образомъ, чтобы возможно сильно зарядить кондукторъ, надо брать въ качествѣ діэлектрика (изолятора) тонкіе слои вещества, діэлектрическая постоянная котораго возможно больше. Конечно и здѣсь существуетъ извѣстный maximum и, хотя черезъ твердое тѣло разрядъ происходитъ лишь при значительномъ напряженіи, все же и черезъ твердый діэлектрикъ разноименныя электричества могутъ соединиться, разрушивъ преграду.

§ 5. Приборы для конденсаціи электричества. Въ практикѣ для конденсаціи электричества примѣняются: лейденская банка, листовой конденсаторъ и электроскопъ съ конденсаторомъ.

Соединяя ихъ коллекторъ съ кондукторомъ электрической машины, мы сможемъ зарядить его во столько разъ большимъ количествомъ электричества, чѣмъ равный имъ по размѣрамъ и формѣ кондукторъ, во сколько δ коллектора больше единицы.

Если сравнивать потенціалъ съ уровнемъ воды въ сосудѣ, а количество электричества съ ея

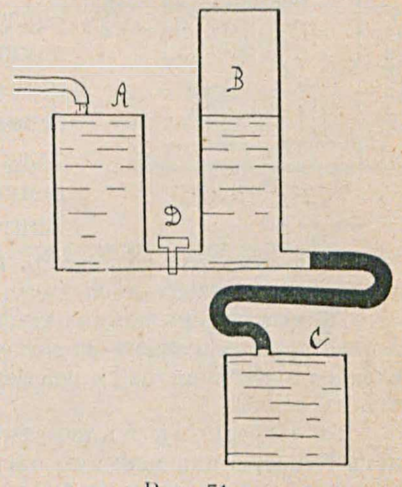


Рис. 71.

*) Въ среднемъ, смотря по составу стекла, отъ 6 до 10.

массой, то (рис. 71) электрическую машину, заряжающую конденсаторъ, можно сравнить съ сосудомъ *A*.

Сосудъ *A* постоянно наполняется извнѣ (внѣшняя работа, развивающая въ машинѣ электричество) до опредѣленнаго уровня (максимумъ разности потенціаловъ кондукторовъ машины). Конденсаторъ представляетъ аналогію сосудамъ *B* (собственно конденсаторъ) и *C* (коллекторъ). Уровень воды въ *B*, какъ бы высокъ сосудъ ни былъ, не можетъ быть больше, чѣмъ въ *A*; количество воды въ обоихъ сосудахъ *B* и *C* во столько разъ больше, чѣмъ въ одномъ *B*, во сколько разъ емкость обоихъ сосудовъ болѣе емкости сосуда *B*. Если соединить съ электрической машиной, два одинаковыхъ кондуктора, одинъ изъ которыхъ служитъ коллекторомъ конденсаціоннаго прибора, то они зарядятся до одинаковаго потенціала и соединенные съ ними электрическіе маятники разойдутся на одинаковые углы. Разъединивъ кондукторы съ электрической машиной, замѣтимъ, что уголъ расхожденія маятника у коллектора послѣ удаленія конденсатора будетъ больше, чѣмъ у кондуктора, не находившагося въ соединеніи съ конденсаторомъ.

Возвращаясь къ нашей аналогіи, можемъ сказать, что, если разъединить сосудъ *B* отъ *A*, закрывъ кранъ *D*, и поднять сосудъ *C*, то уровень воды въ *B* повысится. Поднятіе сосуда *C*, вызывающее переливаніе воды изъ него въ *B*, аналогично удаленію коллектора, освобождающему электричество, связывавшееся имъ на конденсаторѣ.

§ 6. Лейденская банка. Наиболѣе распространенной формой конденсаціоннаго аппарата является такъ называемая *лейденская банка*. Въ 1745 г. физикъ-любитель *фонъ-Клейстъ*, настоятель собора въ г. Камминѣ, случайно обнаружилъ, что, держа въ рукѣ стаканъ съ водою, въ которую опущенъ наэлектризованный гвоздь, можно другой рукой извлечь изъ гвоздя искру.

Въ 1746 г., ученикъ лейденскаго проф. *П. Мушенбрэка*, *Кунэусъ* независимо отъ Клейста обнаружилъ то же явленіе. Мушенбрэкъ, въ присутствіи котораго было сдѣлано открытіе, описывая опытъ, увѣрялъ, что испыталъ такое болѣзненное потрясеніе организма, что ни за что не согласился бы вторично продѣлать опытъ. Проф. *Доппельмайеръ* былъ въ 1750 г. убитъ разрядомъ батареи лейденскихъ банокъ. Вскорѣ появился рядъ усовершенствованій въ устройствѣ такого прибора для полученія сильныхъ искръ.

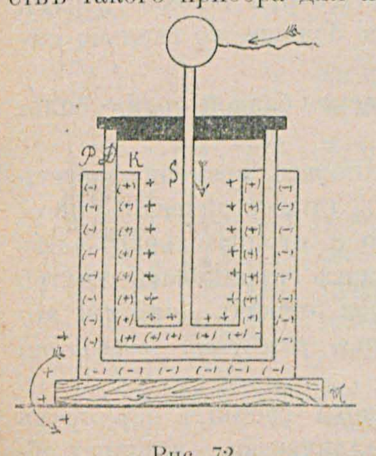


Рис. 72.

Уильсонъ первый обнаружилъ, что сила дѣйствія банки прямо пропорціональна поверхности проводника и обратно пропорціональна толщинѣ стекла.

Въ современномъ видѣ лейденская банка состоитъ (схематическій рис. 72) изъ стекляннаго сосуда, оклееннаго внутри и снаружи станіолемъ. Оклейка идетъ до $^2/_3$ высоты сосуда во избѣжаніе соединеній противоположныхъ электричествъ на поверхности изолятора. Внутренняя обкладка соединена помощью проводника съ металлическимъ шарикомъ. Проводникъ *S* проходитъ черезъ крышку банки, сдѣланную изъ изолятора.

Внутренняя обкладка *K* служитъ коллекторомъ, стеклянный сосудъ изоляторомъ *D*, отдѣляющимъ

коллекторъ отъ конденсатора, а наружная обкладка *P*, соединенная съ землей, конденсаторомъ.

§ 7. Дѣйствіе лейденской банки. Соединяя внутреннюю обкладку банки *K* съ какимъ-нибудь, напримѣръ положительнымъ, полюсомъ машины, заряжаютъ ее положительнымъ электричествомъ. На внѣшней обкладкѣ этимъ связывается отрицательное электричество, а положительное электричество, ставшее свободнымъ, уходитъ въ землю. Часть заряда, полученнаго внутренней обкладкой, связывается отрицательнымъ электричествомъ внѣшней. Внутренняя обкладка можетъ продолжать принимать положительное электричество отъ машины, пока потенціалъ *несвязаннаго* количества положительнаго электричества ея сравняется съ потенціаломъ машины. Такое объясненіе дѣйствія банки было дано въ 1747 г. *Франклиномъ.*

Разъединивъ банку отъ машины, можно разрядить ее двоякимъ способомъ: мгновенно или послѣдовательно.

Мгновенный разрядъ производится короткимъ замыканіемъ при соединеніи обѣихъ обкладокъ проводникомъ. Если банка не велика и зарядъ не силенъ, то можно, взявшись одной рукой за шарикъ, другой коснуться внѣшней обкладки. Слѣдуетъ однако избѣгать это дѣлать, такъ какъ ударъ можетъ быть очень силенъ. Такой разрядъ черезъ цѣпь людей, державшихся за руки, при чемъ крайніе изъ нихъ касались, одинъ внѣшней, а другой внутренней обкладки, впервые былъ сдѣланъ бургомистромъ г. Данцига, *Гралатомъ*, въ 1746 г.

Всего удобнѣе разряжать банку помощью спеціальнаго разрядника (рис. 73).

Разрядникъ состоитъ изъ проводящей части, концы которой сближаются помощью шарнира, насаженнаго на изолирующія рукоятки. Прикасаясь однимъ концомъ разрядника къ внѣшней обкладкѣ, другой приближаютъ къ шарику, соединенному съ внутренней обкладкой, до полученія между ними искры.

Рис. 73.

Длина искры будетъ такая же, какую имѣетъ искра электрической машины, заряжающей банку, потому что потенціалы банки и машины одинаковы. Количество же соединяющихся при такомъ разрядѣ разноименныхъ электричествъ будетъ во столько разъ больше, во сколько емкость банки больше емкости кондуктора машины.

Сообразно съ этимъ обстоятельствомъ искра, даваемая банкой, толще, сильнѣе и болѣе блестяща, чѣмъ искра машины.

Банка, разряженная мгновенно, по истеченіи нѣкотораго времени можетъ быть разряжена вторично. Такой *остаточный* разрядъ (діэлектрическій гистерезисъ) объясняется тѣмъ, что часть положительнаго и отрицательнаго электричества обкладокъ проникаетъ внутрь изолирующаго слоя (стекла). Доказать это можно съ помощью *разборной лейденской банки* (рис. 74).

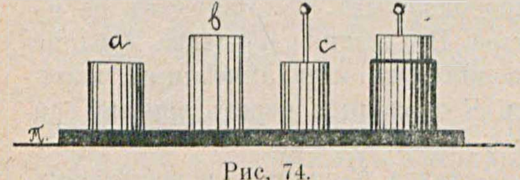


Рис. 74.

Разборная банка состоитъ изъ трехъ сосудовъ: *a*—металлическаго—внѣшней обкладки, *b*—стекляннаго—изолятора и *c*—металлическаго—внутренней обкладки.

Поставивъ сосудъ c въ b, а b въ a, заряжаютъ банку. Затѣмъ щипцами, сдѣланными изъ *непроводника*, вынимаютъ c изъ b и b изъ a, ставятъ ихъ на изолирующую подставку и, соединяя a съ c, разряжаютъ ихъ. Собравъ вновь приборъ, можно получить искру, соединяя разрядникомъ внутреннюю и внѣшнюю обкладки.

Послѣдовательный разрядъ можно произвести, поставивъ банку на непроводящую подставку (изолировавъ ее отъ земли) и прикасаясь сначала къ шарику банки, а затѣмъ къ внѣшней обкладкѣ разрядникомъ или даже рукою, но въ послѣднемъ случаѣ надо остерегаться случайнаго одновременнаго прикосновенія къ шарику и внѣшней обкладкѣ Прикасаясь къ шарику (что равносильно прикосновенію къ внутренней обкладкѣ), отводимъ бывшее свободнымъ положительное электричество; результатомъ будетъ появленіе соотвѣтственнаго количества отрицательнаго электричества на внѣшней обкладкѣ банки. Касаясь ее рукой или разрядникомъ, отводимъ въ землю отрицательное электричество, освобождая новое количество положительнаго электричества на внутренней обкладкѣ и т. д. до полнаго разряженія. Каждый слѣдующій разрядъ будетъ слабѣе предыдущаго, такъ какъ съ каждымъ разомъ освобождается все меньшее количество электричества.

Если коэффиціентъ связыванія равенъ, напримѣръ, 0,9, а количество электричества внутренней обкладки 900 LE, то онѣ связываютъ 0,9 . 900=810 LE на внѣшней обкладкѣ, въ свою очередь связывающихъ 0,9 этого количества, т. е. 0,9 . 810=729 LE на внутренней обкладкѣ, на которой свободнаго положительнаго электричества остается 900—729=171 LE.

Прикасаясь къ шарику банки, отводимъ въ 1-й разъ эти 171 LE и тѣмъ освобождаемъ 0,9 этого количества отрицательнаго электричества на внѣшней обкладкѣ, т. е. уже всего 154 LE.

Слѣдующее прикосновеніе къ шарику отведетъ въ землю 0,9 . 154=138 LE и т. д.

§ 8. Скорость разряда лейденской банки. Продолжительность разряда лейденской банки, по опредѣленію *Г. Уитстона,* сдѣланному въ 1839 г., не превышаетъ $\frac{1}{24.000}$ секунды.

Уитстонъ устанавливалъ быстро вращающееся цилиндрическое зеркало такъ, чтобы ось его вращенія совпадала съ направленіемъ искры. При 800 оборотахъ зеркала въ 1 секунду искра отражалась въ немъ свѣтлой полосой шириной въ 12°; слѣдовательно, она отражалась въ теченіе поворота зеркала на $^1/_{30}$ окружности, что требовало $\frac{1}{800} \cdot \frac{1}{30} = \frac{1}{24000}$ долю секунды.

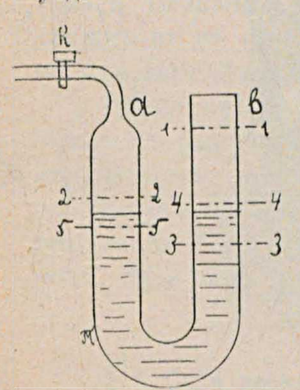


Рис. 75.

Вспомнивъ физіологическую особенность нашего глаза сохранять полученное впечатлѣніе, какъ бы кратковременно оно ни было, въ теченіе $^1/_7$ секунды, мы поймемъ, почему намъ кажется, что явленіе искры не мгновенно.

Гельмгольцъ, сверхъ того, установилъ, что и въ этотъ короткій срокъ происходитъ не одинъ, а цѣлый рядъ разрядовъ въ противоположныхъ направленіяхъ, при чемъ продолжительность каждаго отдѣльнаго разряда выражается милліонной долей секунды.

Уравниваніе потенціаловъ происходитъ не сразу. Аналогіей можетъ служить движеніе жидкости въ сообщающихся сосудахъ, когда равновѣсіе ея нарушено. Если въ колѣно a (рис. 75) накачать воздухъ, то жидкость въ b повысится до уровня

1—1. Выпустивъ избытокъ воздуха изъ *a*, замѣтимъ, что жидкость не сразу станетъ въ обоихъ колѣнахъ на прежнемъ уровнѣ. Сначала уровень въ *a* будетъ 2—2, а въ *b* 3—3, затѣмъ въ *a* 5—5, а въ *b* 4—4 и т. д., такъ что пройдетъ нѣкоторое время, пока установится равновѣсіе. Подобное явленіе наблюдается и при уравниваніи потенціаловъ при электрическомъ разрядѣ въ лейденской банкѣ значительной емкости. Теорія этого явленія была дана лордомъ *Кельвиномъ* въ 1853 г., а разработана въ 1857 г. *Г. Киргхгофомъ*.

Въ дальнѣйшемъ изложеніи современныхъ успѣховъ изученія электричества мы увидимъ, какое важное значеніе имѣетъ этотъ фактъ (ч. IV, гл. V).

§ 9. Батарея лейденскихъ банокъ. Дѣйствіе лейденской банки, какъ показалъ *Франклинъ*, можно усилить до произвольно большой степени, если соединить нѣсколько банокъ *параллельно*, т. е. соединяя проводникомъ всѣ шарики банокъ (внутреннія обкладки) и ставя банки на проводящую подставку. Дѣйствіе батареи изъ *n* банокъ равносильно дѣйствію банки, имѣющей въ *n* разъ большую поверхность обкладокъ. Потенціалъ же, понятно, остается неизмѣннымъ.

§ 10. Доска Франклина и листовой конденсаторъ. Франклинъ значительно упростилъ форму конденсатора, обклеивая съ обѣихъ сторонъ пластинку изъ листового стекла станіолемъ. Какъ указано на рисункѣ 76, оклейка не доводится до краевъ стекла въ предупрежденіе преждевременнаго разряда. Соеди-

Рис. 76.

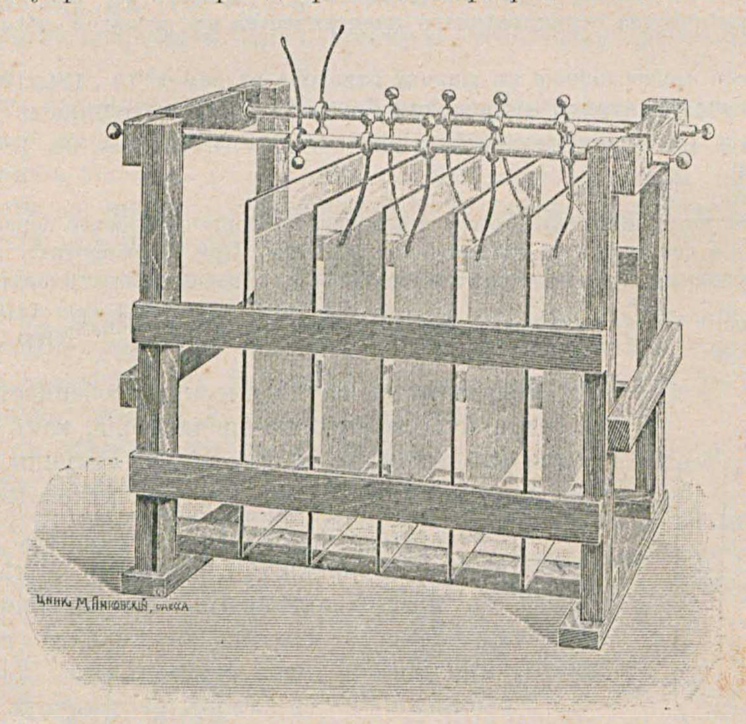


Рис. 77.

няя такіе конденсаторы въ батарею, можно при портативности прибора достичь весьма значительной силы его дѣйствія (рис. 77).

Листовой конденсаторъ (рис. 78) состоитъ изъ двухъ серій станіолевыхъ листковъ s, s' s''... и e, e' e'', изолированныхъ другъ отъ друга бумагой v. ., напитанной парафиномъ. Листки каждой серіи соединены другъ съ другомъ.

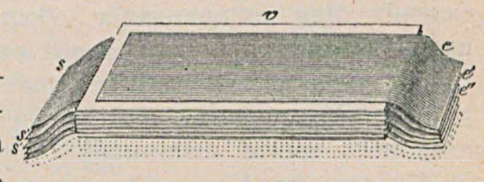


Рис. 78.

§ 11. Конденсаторъ Вольты. Этотъ конденсаторъ служитъ для увеличенія напряженія электричества, текущаго изъ весьма слабаго источника. Первоначально онъ былъ устроенъ *Вольтою* въ 1782 г. для доказательства, что при соприкосновеніи разнородныхъ металловъ возникаетъ ихъ электризація: одного положительная, другого отрицательная, такъ что при соединеніи ихъ проводникомъ, въ виду стремленія противоположныхъ по знаку электричествъ нейтрализоваться, электричество течетъ по проводнику. Приспособленіе, состоящее (рис. 79) изъ мѣднаго и цинковаго кружковъ, раздѣленныхъ влажной, а еще лучше подкисленной бумагой, можно разсматривать, какъ особаго рода электрическую машину, въ которой электричество образуется не за счетъ механической работы, какъ во всѣхъ ранѣе разсмотрѣнныхъ источникахъ электричества, а за счетъ химической энергіи, развивающейся при взаимодѣйствіи веществъ, изъ которыхъ она составлена (ч. III, гл. I, § 2).

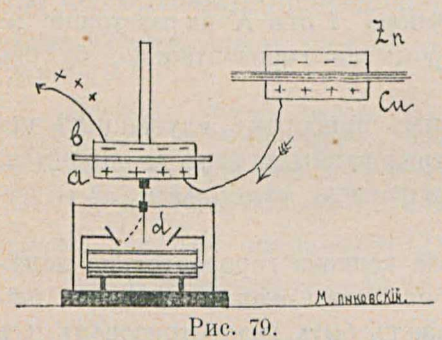


Рис. 79.

Такъ какъ разность потенціаловъ возникающихъ при этомъ разноименныхъ электричествъ ничтожна (менѣе 1 вольта), то ни электрическій бузинный маятникъ, ни электроскопы не въ состояніи обнаружить присутствія электричества. Для его обнаруженія служитъ электроскопъ съ конденсаторомъ, отличающійся высокой чувствительностью. Конденсаторъ состоитъ изъ металлической пластинки a, соединенной проводникомъ съ электроскопомъ (замѣняющей шарикъ электроскопа) и съ мѣднымъ кружкомъ описаннаго источника электричества.

На кружокъ a положенъ другой такой же кружокъ b, отдѣленный отъ a изоляторомъ (обыкновенно тонкимъ слоемъ смоляного лака) и соединенный съ землей. Незначительное количество свободнаго положительнаго электричества на кружкѣ не въ состояніи обнаружить свое присутствіе отклоненіемъ листка d весьма чувствительнаго электроскопа *Боненбергера*, соединеннаго съ конденсаторомъ.

Разобщивъ кружокъ a и мѣдную пластинку c и снимая кружокъ b, освобождаемъ бывшее связаннымъ положительное электричество коллектора a и обнаруживаетъ помощью электроскопа его присутствіе. Если конденсаціонная способность коллектора $\delta=100$, а источникъ электричества имѣетъ разность потенціаловъ 1 вольтъ, то освободившійся зарядъ, обнаруживаемый электроскопомъ, будетъ имѣть потенціалъ, равный 100 вольтамъ.

IX. Электрическія постоянныя.

§ 1. Сила электрическаго взаимодѣйствія. Мы знаемъ, что тѣла, наэлектризованныя одноименными электричествами (т. е. потенціалы зарядовъ которыхъ оба выше или оба ниже потенціала земли), отталкиваются, а разноименными (одно,

имѣющее потенціалъ выше, а другое ниже потенціала земли), притягиваются.

Опытомъ можно убѣдиться, что сила такого притяженія или отталкиванія обратно пропорціональна квадрату разстоянія между наэлектризованными тѣлами. Уравновѣсивъ на вѣсахъ (рис. 80) заряженный кондукторъ K, приближаемъ къ нему по отвѣсному направленію другой одноименно заряженный кондукторъ A. Кондукторъ K при нѣкоторомъ разстояніи его центра отъ центра кондуктора A начнетъ отклоняться внизъ. Продолжая опускать A внизъ, оставимъ его на нѣкоторомъ разстояніи отъ прежняго положенія K и вернемъ послѣдній въ это начальное положеніе увеличеніемъ груза на чашкѣ вѣсовъ. Пусть разстояніе между кондукторами будетъ r, а грузъ p. Удаляя теперь A отъ K на разстояніе $2r$, $3r$, $4r$... увидимъ, что грузы, удерживающіе коромысло горизонтально, будутъ послѣдовательно равны $p/_4$, $p/_9$, $p/_{16}$...

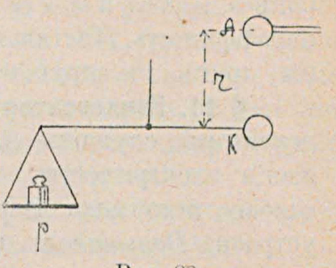


Рис. 80.

§ 2. **Крутильные вѣсы**. Болѣе чувствительнымъ приборомъ, служащимъ для измѣренія силы взаимнаго отталкиванія наэлектризованныхъ тѣлъ и одноименныхъ магнитныхъ полюсовъ, являются такъ называемые *крутильные вѣсы Кулона* (рис. 81).

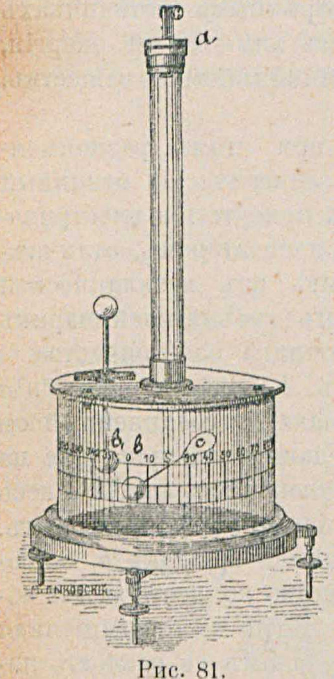


Рис. 81.

Внутри стекляннаго колпака горизонтально помѣщается изолированная палочка, оканчивающаяся шарикомъ b_1, который можетъ быть наэлектризованъ. Съ нимъ соприкасается такой же шарикъ b, подвѣшенный на тонкой сырцовой нити въ центрѣ вращающагося круга a съ дѣленіями и уравновѣшенный слюдянымъ кружкомъ c. Вынувъ шарикъ b_1, заряжаютъ его опредѣленнымъ количествомъ электричества и опускаютъ внутрь прибора до прикосновенія къ шарику b. Зарядъ шарика b_1 поровну распредѣляется между обоими шариками и шарикъ b отталкивается, описывая дугу тѣмъ большую, чѣмъ больше былъ зарядъ шарика b_1. Чтобы шарикъ b приблизить на опредѣленное разстояніе къ неподвижному шарику, вращеніемъ круга a закручиваютъ нить, на которой онъ подвѣшенъ. Величина угла крученія, отсчитанная по дѣленіямъ круга a, соотвѣтствуетъ опредѣленному, заранѣе вычисленному усилію.

Такимъ образомъ, зная величину усилія, нужнаго для приближенія подвижнаго шарика къ шарику b_1 до извѣстнаго разстоянія между ними, можно убѣдиться, что для приближенія на разстояніе вдвое меньшее, надо затратить усиліе вчетверо большее. То же наблюденіе надъ взаимодѣйствіемъ магнитныхъ полюсовъ (ч. I, гл. IV, § 2) можно сдѣлать, замѣняя стерженьки съ наэлектризованными шариками достаточно длинными намагниченными стальными стерженьками.

§ 3. **Электростатическая единица.** *Количество электричества, которое отталкиваетъ равное себѣ количество, помѣщенное на разстояніи 1 см., съ силою 1*

дины, условились, какъ мы уже упоминали (гл. I, § 3), *считать единицею количества электричества* (*LE*), *или электростатическою единицею, или единицею электростатической массы*.

Если бы въ нашемъ опытѣ (§ 1) кондукторы K и A, равные по размѣрамъ, были приведены въ соприкосновеніе, а затѣмъ, будучи поставлены въ разстояніи (центровъ) 1-го см., уравновѣшивали бы своимъ отталкиваніемъ опусканіе чашки вѣсовъ съ грузомъ въ $^1/_{981}$ гр., то величина заряда каждаго изъ нихъ была бы равна 1 LE.

3000,000,000, т. е. 3. 10^9 такихъ единицъ образуютъ *кулонъ*.

Машина, дающая въ каждую секунду своего дѣйствія количество электричества, равное одному кулону, обладаетъ силою въ *1 амперъ* (ч. III, гл. II, § 2).

§ 4. Законъ Кулона. Если одинъ изъ кондукторовъ заряженъ m электростатическими единицами, а другой m^1, то при разстояніи между ними въ r см. *сила отталкиванія* (притяженія) $f = \frac{m\,m^1}{r^2}$ динъ, т. е. *равна произведенію количествъ электричества, дѣленному на квадратъ разстоянія между ними. (Кулонъ*, 1784 г.).

Положимъ, что два шаровыхъ кондуктора, радіусы которыхъ равны 1 см., находятся на разстояніи 10 см. Потенціалъ одного изъ нихъ—18000 вольтъ, а другого—39000. Для того чтобы опредѣлить силу ихъ отталкиванія, опредѣлимъ величину ихъ зарядовъ m и m^1.

Электроемкость шарового кондуктора, радіусъ котораго 1 см., равна $\frac{1}{300}LE$ *на каждый 1 вольтъ напряженія*. Слѣдовательно:

$$m = \frac{1}{300} \cdot 18000 = 60 \text{ LE, а}$$

$$m^1 = \frac{1}{300} \cdot 39000 = 130 \text{ LE.}$$

Откуда: $f = \frac{60.130}{100} = 78$ динъ.

§ 5. Единица напряженія электричества. *Напряженіе электричества на поверхности шарового кондуктора, радіусъ котораго 1 см., а величина заряда* $\frac{1}{300}LE$ *принято за единицу напряженія и названо вольтомъ*.

Такимъ образомъ, зная электроемкость кондуктора и величину заряда, можно опредѣлить напряженіе.

Имѣя, напримѣръ, шаровой кондукторъ, радіусъ котораго 3 см., а величина заряда 6 LE, опредѣлимъ степень заряда, напряженіе или потенціалъ, по формулѣ:

$$X \cdot \frac{3}{300} = 6 \text{ LE.}$$

Дѣйствительно, электроемкость на каждый вольтъ $\frac{1}{300}$ LE, а если радіусъ шара не 1, а 3 см., то $\frac{3}{300}$ LE. На X вольтъ въ X разъ больше.

Количество же электричества равно 6 LE и есть произведеніе электроемкости на напряженіе, выраженное въ вольтахъ.

Отсюда $X = \frac{300.6}{3} = 600$ вольтъ.

Опредѣлимъ еще потенціалъ заряда шариковъ электрическаго маятника, имѣющихъ радіусъ, равный 0,5 см., и отталкивающихся на разстояніи 3 см. съ силою 81 дины.

Величина заряда опредѣлится изъ формулы отталкиванія:

$$\frac{m.\,m}{3^2} = 81,$$

откуда $m^2 = 9.\,81$, а $m = 27$ LE.

Электроемкость такого шарика равна $\frac{0,5}{300}$ LE; слѣдовательно, потенціалъ:

$$X \cdot \frac{1}{600} = 27\ LE,\ X = 16200 \text{ вольтъ.}$$

§ 6. Связь между повышеніемъ потенціала и работой. Мы уже видѣли, что для повышенія потенціала кондуктора электрической машины надо затратить механическую работу. Съ другой стороны мы знаемъ, что повышеніе потенціала происходитъ постепенно. Такъ, приближая къ электроскопу наэлектризованное тѣло, замѣчаемъ расхожденіе листочковъ, возрастающее по мѣрѣ приближенія заряженнаго тѣла къ шарику электроскопа.

Положимъ, мы хотимъ повысить потенціалъ шарового кондуктора, радіусъ котораго 1 см., заряжая его $\frac{1}{300}$ *LE*. Приближая это количество электричества съ неопредѣленно далекаго разстоянія до поверхности проводника, мы производимъ работу, преодолѣвая отталкиваніе одноименнаго электричества, находящагося на кондукторѣ. Результатомъ этой работы, когда зарядъ будетъ перенесенъ на кондукторъ, явится повышеніе его потенціала на 1 вольтъ.

Величина вольта выбрана такимъ образомъ, что работа, которую надо затратить на повышеніе потенціала *1 LE* на 1 вольтъ, равна $\frac{1}{300}$ эрга *).

Работа, требующаяся для повышенія потенціала *m LE* на *v* вольтъ, $T = \frac{mv}{300}$ эрговъ.

Механическая работа, равная 10^7 эрговъ или *1 джоулю* (около 0,1 килограммометра), повыситъ напряженіе 1-го кулона ($3 \cdot 10^9$ LE) на 1 вольтъ.

§ 7. Уровень потенціала. Очевидно, что для передвиженія одного и того же количества электричества не на самую поверхность кондуктора, а на нѣкоторое отъ него разстояніе понадобится затратить меньшую работу.

Окружая кондукторъ нѣкоторой воображаемой поверхностью, всѣ точки которой имѣютъ то общее свойство, что для перенесенія въ нихъ *1 LE* изъ безконечности надо затратить одинаковую работу, получаемъ такъ называемую ***поверхность уровня потенціала*** или ***изопотенціальную поверхность***. *1 LE*, перенесенная въ любую точку такой поверхности, повышаетъ потенціалъ окружаемаго ею проводника на одно и то же число вольтъ.

Въ магнитномъ полѣ, какъ намъ извѣстно (ч. I, гл. IV, § 4), напряженность поля уменьшается пропорціонально второй степени разстоянія. Силовыя линіи такого поля представляютъ замкнутыя кривыя, расположенныя между полюсами магнита. Въ полѣ электростатическомъ, въ которомъ силовыя линіи представляютъ незамкнутыя линіи, напряженность убываетъ пропорціонально третьей степени удаленія.

Кондукторъ, имѣющій шаровую поверхность, будетъ окруженъ шаровыми же концентрическими поверхностями уровня потенціала. Легко подтвердить опытомъ, что по какому бы направленію мы ни приближали къ такому кондуктору наэлектризованное тѣло, на одинаковыхъ разстояніяхъ отъ поверхности кондуктора это тѣло будетъ одинаково повышать его потенціалъ.

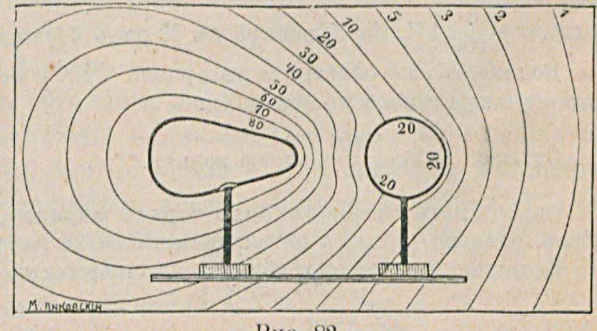


Рис. 82.

Дѣло обстоитъ значительно сложнѣе, если кондукторъ имѣетъ не шаровую форму, или если вблизи отъ него находится другой кондукторъ, индуктируемый первымъ. На рис. 82 нанесены линіи сѣченія вертикальной плоскостью такихъ поверхностей одинаковаго уровня потенціала, окружающихъ коническій

*) Эргъ = 1 см. × 1 дину.

кондукторъ, потенціалъ котораго равенъ 80 вольтамъ, и помѣщенный вблизи него шаровой кондукторъ, потенціалъ котораго подъ вліяніемъ индукціи коническаго кондуктора равенъ 20 вольтамъ. Мы видимъ, что внутрь кондукторовъ линіи чертежа не проникаютъ; это указываетъ на отсутствіе свободнаго электричества внутри проводника.

Для перенесенія изъ безконечности на поверхность уровня потенціала v вольтъ 1 LE надо затратить $v \frac{1}{300}$ *эрга. Чтобы перемѣстить 1 LE, находящуюся на этой поверхности, на слѣдующую, потенціалъ которой на 1 вольтъ больше, нужно вновь затратить* $\frac{1}{300}$ *эрга.* Вообще *для перемѣщенія каждой 1 LE съ поверхности уровня потенціала v вольтъ на поверхность уровня потенціала v_1 вольтъ надо произвести работу въ* $(v_1-v)\frac{1}{300}$ *эрговъ.*

Обратно, *если 1 LE переходитъ съ уровня высшаго потенціала на уровень низшаго, она производитъ работу, равную разности числа вольтъ на* $\frac{1}{300}$ *эрга:* $T=\frac{v_1-v}{300}$ *эрговъ, а при переходѣ m LE работа* $T=\frac{(v_1-v)m}{300}$ *эрговъ.*

Здѣсь мы можемъ провести аналогію съ накачиваніемъ воды изъ резервуара низшаго уровня въ резервуаръ высшаго уровня и обратно паденіемъ воды изъ второго резервуара въ первый. Какую работу надо затратить, чтобы поднять воду (количество воды×на разность уровней), такую же произведетъ она при паденіи. Работа въ обоихъ случаяхъ будетъ прямо пропорціональна массѣ воды и разности уровней (масса×на путь.)

Для примѣра вычислимъ величину работы, производимой электрической искрой, переносящей *6 LE* съ кондуктора, потенціалъ котораго 14.000 вольтъ, на кондукторъ, имѣющій потенціалъ 2.000 вольтъ. Поверхность уровня потенціала 1-го кондуктора 14.000, второго 2.000.

Можно представить 14.000—2.000=12.000 поверхностей, имѣющихъ одинаковый потенціалъ между поверхностями кондукторовъ. Потенціалъ каждой такой воображаемой поверхности на 1 вольтъ отличенъ отъ потенціала ближайшей поверхности. Для перенесенія *1 LE* съ любой поверхности на слѣдующую (имѣющую потенціалъ на 1 вольтъ больше) надо затратить $\frac{1}{300}$ эрга, для перенесенія послѣдовательно на всѣ 12.000 поверхостей $12.000 \cdot \frac{1}{300}$ эрга. А такъ какъ количество переносимаго электричества равно *6 LE*, то вся работа будетъ равна $6 \cdot 12000 \cdot \frac{1}{300}=240$ эрговъ. Такую работу произведетъ искра, перенося *6 LE* съ высшаго потенціала на низшій.

§ 8. **Выраженіе работы.** Работа, производимая перемѣщеніемъ нѣкотораго количества электричества *M* кулоновъ ($=M \cdot 3 \cdot 10^9$ LE) между двумя кондукторами, разность потенціаловъ которыхъ

$$V_2-V_1=V \text{ вольтъ},$$

выразится формулой:

$$T=V[M \cdot 3 \cdot 10^9] \cdot \frac{1}{300} \text{ эрговъ}$$

$$T=V[M.\ 10^7] \text{ эрговъ}$$

$$T=VM \text{ (вольтъ-кулоновъ}=1 \text{ джоулю).}$$

Произведеніе числа кулоновъ количества электричества на число вольтъ разности уровней потенціаловъ, между которыми происходитъ перемѣщеніе, выражаетъ величину электрической работы въ джоуляхъ (§ 6).

Далѣе (ч. III, гл. XI, § 1) мы увидимъ, что перемѣщеніе 1 кулона въ теченіе 1 секунды обозначается, какъ единица *силы электрическаго тока* (§ 2, гл. VIII) и называется *амперомъ*. Произведеніе *вольтъ*×*амперъ*=1 *джоулю въ секунду*=1 *уатту* (приблизительно 0,1 килограммометра, т. е. 0,00134 HP) *).

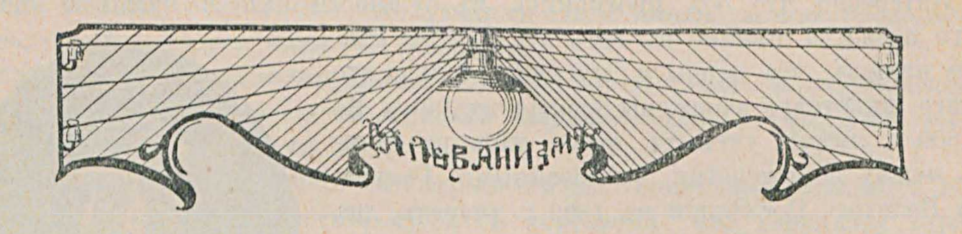
Въ электротехникѣ пользуются болѣе крупными единицами; такъ, за единицу силы тока берутъ *амперъ-часъ*=3600 кулоновъ, а за единицу мощности *килоуаттъ*=1000 уаттовъ (ваттовъ)

---

*) HP—паровая лошадь=75 Kgm. въ секунду.

Часть III.

ГАЛЬВАНИЗМЪ.



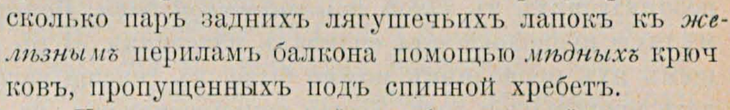
I. Гальваническіе элементы—новый видъ электрическихъ машинъ.

§ 1. **Открытіе Гальвани.** Въ 1789 г. итальянскій профессоръ *Алоизій Гальвани* сдѣлалъ случайное открытіе, положившее начало необычайно обширнымъ практическимъ примѣненіямъ электричества.

Среди многочисленныхъ версій исторіи этого открытія наиболѣе распространена слѣдующая: врачи прописали женѣ профессора бульонъ изъ лягушечьихъ лапокъ. Препарированныя лягушки находились въ помѣщеніи, гдѣ Гальвани со своими учениками работалъ надъ изученіемъ электрическихъ явленій. Въ то время какъ одинъ изъ учениковъ коснулся металлическимъ ножемъ спинного нерва лягушки, другой извлекъ изъ электрической машины искру. Въ этотъ моментъ лапки мертвой лягушки вздрогнули.

Умышленное повтореніе опыта вызвало то же явленіе, повторявшееся до тѣхъ поръ, пока въ трупѣ лягушки не наступило мускульное окоченѣніе.

Гальвани, желая изслѣдовать, не окажетъ ли на сокращеніе мускуловъ такое же дѣйствіе и атмосферное электричество, подвѣсилъ во время грозы нѣ-



сколько паръ заднихъ лягушечьихъ лапокъ къ *желѣзнымъ* периламъ балкона помощью *мѣдныхъ* крючковъ, пропущенныхъ подъ спинной хребетъ.

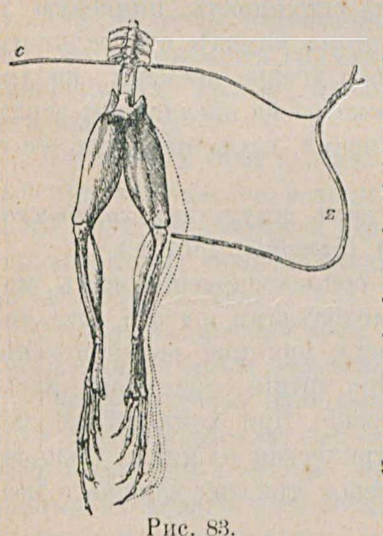


Рис. 83.

При каждомъ ударѣ молніи лапки дѣйствительно вздрагивали. Это вздрагиваніе было еще сильнѣй, когда раскачиваемыя вѣтромъ лапки прикасались обнаженными мускулами къ желѣзу перилъ.

Гальвани высказалъ предположеніе о принадлежности даннаго явленія къ области *животнаго электричества*, сравнивая нервы съ внутренней, а мускулы съ наружной обкладкой лейденской банки, въ металлахъ же онъ видѣлъ лишь проводники, черезъ которые происходитъ разрядъ разноименныхъ электричествъ нервной и мускульной тканей.

Вольта высказалъ обратное мнѣніе. Онъ видѣлъ въ лягушкѣ лишь чувствительный электроскопъ, указывающій на происходящій разрядъ между противоположными электричествами двухъ различныхъ металловъ. Дѣйствительно, при прикосновеніи къ нервамъ и мускуламъ препарированной лягушки концами проволоки, скрученной изъ цинковой и мѣдныхъ проволокъ (рис. 83), лапки вздрагивали.

Интересно, что оба противника въ сущности были и правы и неправы. Много позже, а именно въ 1875 г., *Дю-Буа-Реймондъ* нашелъ, что нервы и мускулы только что убитаго животнаго заряжены электричествомъ. Но до 1800 г. мнѣнія ученыхъ всего міра раздѣлялись между положеніями, высказанными Гальвани и Вольтою. Послѣдній въ 1800 г. (черезъ два года послѣ смерти Гальвани) окончательно убѣдилъ современниковъ въ правотѣ своего взгляда. Однако, онъ смѣшивалъ электричество отъ соприкосновенія съ электричествомъ, получаемымъ при химическихъ реакціяхъ.



Александръ Вольта.

§ **2. Опытъ Вольты.** Два различныхъ металла, сложенныхъ хорошо отполированными поверхностями, развиваютъ, какъ показываетъ очень чувствительный электроскопъ, истеченіе электричества по соединяющему ихъ проводнику (ч. II, гл. VIII, § 11).

Такое перемѣщеніе электричества по проводнику носитъ названіе *электрическаго тока* (или *гальваническаго*).

Ученіе о причинахъ возникновенія и законахъ движенія тока называется въ честь Гальвани *гальванизмомъ*.

Вольта видѣлъ причину возникновенія разноименныхъ электричествъ въ *соприкосновеніи* металловъ и предложилъ называть образующееся электричество —*электричествомъ отъ соприкосновенія* (*контактное электричество*) по аналогіи съ извѣстнымъ ранѣе электричествомъ отъ тренія. Чтобы показать отсутствіе вліянія промежуточной среды на образованіе разнородныхъ электричествъ, возникающихъ въ такой *гальванической парѣ*, Вольта скручивалъ цинковую и мѣдную проволоки или спаивалъ пластинки. И въ этомъ случаѣ въ соединяющемъ ихъ проводникѣ можно было въ теченіе какого угодно времени наблюдать прохожденіе тока. Теорія соприкосновенія, не смотря на наглядность этихъ опытовъ, многими отрицается еще и въ настоящее время, какъ отвергалъ ее и Фарадей.

Предполагаютъ, что токъ и здѣсь возникаетъ, какъ результатъ *химическаго взаимодѣйствія* тѣлъ. (Теорія *Фаброни*, 1799 г. и *Паррота*, 1801 г.).

Однако существуетъ и такой взглядъ, что при соприкосновеніи тѣлъ молекулы одного проникаютъ въ промежутки между молекулами другого, какъ это должно происходить и при треніи, и что, въ сущности, причина возникновенія электричества въ обоихъ случаяхъ одна и та же. При треніи образованіе электричества прекращается, какъ только прекращено треніе. При контактѣ же получается своего рода постоянно дѣйствующая электрическая машина. Возможно, впрочемъ, что здѣсь оказываетъ вліяніе химическое дѣйствіе влажнаго воздуха, прикосновеніе руки и пр.

§ **3. Рядъ Вольты.** Изслѣдуя взаимодѣйствіе различныхъ тѣлъ другъ на друга, Вольта замѣтилъ, что, хотя разность потенціаловъ возникающихъ на нихъ зарядовъ всегда крайне мала, для различныхъ паръ она не одинакова.

Эта разность не зависитъ отъ величины соприкасающихся поверхностей.

Рядъ Вольты состоитъ изъ слѣдующихъ тѣлъ: *цинкъ, свинецъ, олово, желѣзо, мѣдь, серебро, золото, платина, уголь.*

Оказывается, что *каждый предыдущій членъ этого ряда въ соприкосновеніи съ любымъ изъ послѣдующихъ заряжается отрицательно, послѣдующій же положительно* (сравни ч. II, гл. III, § 1).

Такъ, при соприкосновеніи желѣза съ мѣдью послѣдняя зарядится положительно, а при соприкосновеніи мѣди съ серебромъ она зарядится отрицательно.

Разность потенціаловъ двухъ произвольно взятыхъ тѣлъ ряда равна суммѣ разностей потенціаловъ промежуточныхъ паръ.

Напримѣръ, разность потенціаловъ олова и серебра равна суммѣ разностей потенціаловъ между оловомъ и желѣзомъ, желѣзомъ и мѣдью, мѣдью и серебромъ.

Тѣла, подчиняющіяся этому правилу, носятъ названіе *проводниковъ перваго класса.*

Жидкости (за исключеніемъ ртути, которая—проводникъ перваго класса) не подчиняются этому закону и называются *проводниками второго класса.*

§ 4. **Разность потенціаловъ между проводниками разныхъ классовъ.** Прокладывая между цинковой и мѣдной пластинками въ опытѣ Вольты смоченную подкисленной водой бумагу, не трудно убѣдиться, что разность потенціаловъ *Zn* и *Cu* при этомъ увеличится.

Причиной возникновенія разноименныхъ электричествъ будетъ здѣсь *химическое дѣйствіе* кислоты на цинкъ, согласно реакціи:

$$Zn + H_2SO_4 = H_2 + ZnSO_4,$$

сопровождающееся образованіемъ цинковаго купороса и выдѣленіемъ водорода. Химическая энергія взаимодѣйствія вступающихъ въ реакцію тѣлъ частью переходитъ въ тепло, частью въ электричество (*Де-ля-Ривъ* и *Фарадей* въ 1836 г.). Мѣдь же въ данномъ случаѣ будетъ играть лишь роль проводника: токъ возникаетъ между тѣлами, входящими въ реакцію, т. е. между проводниками разныхъ классовъ.

Потенціалъ тока будетъ больше, чѣмъ при контактномъ дѣйствіи. Такъ какъ при химической реакціи происходитъ перемѣщеніе атомовъ изъ молекулъ одного тѣла въ молекулы другого, то и этотъ родъ электричества имѣетъ въ сущности то же происхожденіе, какъ электричество тренія и контакта, т. е. *взаимодѣйствіе молекулъ.*

Для возникновенія тока достаточенъ одинъ металлъ и одна жидкость: при этомъ *металлъ всегда заряжается отрицательно.*

Гальваническая пара или цѣпь изъ проводниковъ разныхъ классовъ называется *гальваническимъ элементомъ*; крайніе члены составляющаго ихъ ряда—*электродами* или *полюсами*; приспособленія для соединенія съ ними проводника, по которому течетъ токъ между электродами,—*клеммами.*

Разность потенціаловъ въ такой гальванической парѣ зависитъ отъ того, изъ какихъ веществъ она составлена.

Такъ, разность потенціаловъ между цинкомъ и сѣрной кислотой равна 1,5 вольтъ

$$- Zn \;/\; + H_2SO_4 = 1{,}5 \text{ вольтъ}.$$

Если потенціалъ цинка X вольтъ, то кислоты X + 1,5 вольта.

Соединяя съ землею цинкъ, найдемъ, что потенціалъ кислоты + 1,5 вольта если же сообщить (угольной нитью, на которую кислота не дѣйствуетъ) съ землей кислоту, то потенціалъ цинка будетъ—1,5 вольта. Зная величину поверхностей и разность потенціаловъ двухъ взаимодѣйствующихъ проводниковъ 1-го и 2-го классовъ, можно вычислить ихъ напряженность и величину заряда.

Положимъ, что цинковый шарикъ радіусомъ въ 5 мм. приведенъ въ соприкосновеніе съ каплей кислоты.

Радіусъ капли 1 мм., разность потенціаловъ 1,5 вольта. Цинковый шарикъ пусть имѣетъ X вольтъ напряженія при количествѣ электричества — *e*, а капля кислоты потенціалъ *У*, количество электричества + *e*.

Электроемкость шарика $\frac{5}{10.300}$ LE, капли $\frac{1}{10.300}$. Сумма количествъ электричества должна быть равна 0, такъ какъ абсолютныя ихъ количества на обоихъ проводникахъ одинаковы, отличаясь только знакомъ:

$$\frac{5}{3000}X + \frac{1}{3000}У = 0.$$

$$У - X = 1{,}5.$$

Откуда X = —0,25 вольтъ, *У* = + 1,25, e = $\frac{1}{2400}$ LE.

Въ заключеніе приведемъ таблицу разностей потенціаловъ между нѣкоторыми проводниками 1-го и 2-го класса, выраженную въ вольтахъ:

	Магній	Цинкъ	Свинецъ	Мѣдь	Серебро	Платина	Уголь
Вода	1,89	1,35	0,93	0,60	0,43	0,36	0
Сѣрная кислота	2,38	1,50	0,94	0,44	0,13	0,01	0
Растворъ цинковаго купороса		1,43					0
Растворъ мѣднаго купороса				0,40			0

Эта разность зависитъ отъ чистоты проводниковъ и даже отъ разности ихъ внутренняго строенія. Такъ, по наблюденіямъ *Бильби* (1904 г.) при погруженіи въ сѣрную кислоту двухъ тонкихъ серебряныхъ пластинокъ, изъ которыхъ одна была подвергнута сильному давленію, между ними получается разность потенціаловъ около 0,1 вольта. Слѣдовательно, разности потенціаловъ между первой пластинкой и кислотой и второй пластинкой и кислотой не одинаковы.

§ 5. Элементъ Вольты (1794 г.). Этотъ, первый по времени появленія, гальваническій элементъ состоитъ изъ цинковой и мѣдной пластинокъ, раздѣленныхъ слабымъ растворомъ сѣрной кислоты (рис. 84); разность потенціаловъ въ немъ между Zn и H_2SO_4—1,5 вольта (рис. 85). Мѣдь электризуется отрицательно, какъ и цинкъ. Общая разность потенціаловъ между Zn и кислотой, кислотой и мѣдью будетъ (при соединеніи цинка съ землей):

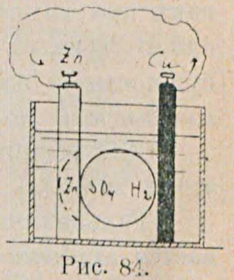


Рис. 84.

$$0 + 1{,}5 \text{ в.} + (-0{,}44) \text{ в.} = 1{,}06 \text{ в.}$$

$$-Zn \mid + H_2SO_4 \mid - Cu.$$

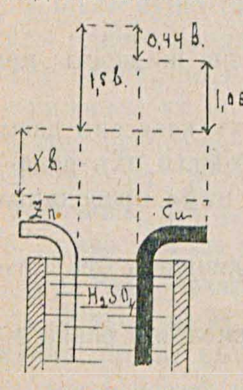


Рис. 85.

Въ первоначальномъ видѣ онъ представлялъ такъ называемый „сухой" элементъ, т. е. кружки изъ указанныхъ металловъ прокладывались бумагой, увлажненной растворомъ кислоты. Соединяя послѣдовательно рядъ такихъ

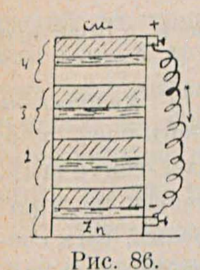


Рис. 86.

паръ, Вольта устроилъ столбъ (рис. 86), разность потенціаловъ въ которомъ между крайними мѣднымъ и цинковымъ кружками могла быть произвольно велика (рис. 87), будучи во столько разъ больше разности потенціаловъ одной пары, сколько паръ взято.

Соединяя цинкъ перваго кружка съ землею, будемъ имѣть потенціалъ его равнымъ 0, а мѣди—1,06 вольта; таковъ же будетъ потенціалъ цинка слѣдующей пары, такъ какъ цинкъ 2-й пары соединенъ съ мѣдью первой. Потенціалъ мѣднаго кружка 2-й пары на 1,06 вольта больше потенціала цинка этой пары, т. е. равенъ 1,06+1,06=2,12 вольтъ и т. д.;

Zn / Cu — Zn / Cu Zn / Cu
0 v v 2v 2v 3v

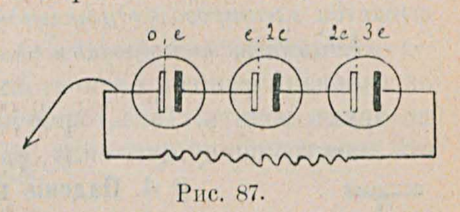


Рис. 87.

§ 6. **Столбъ Замбони**. Интереснымъ видоизмѣненіемъ вольтова столба является столбъ *Замбони*, состоящій изъ нѣсколькихъ тысячъ бумажныхъ кружковъ, натертыхъ съ одной стороны влажной перекисью марганца, а съ другой прикрытыхъ кружками тонкаго цинка. Кружки, наложенные другъ на друга, помѣщаются внутрь стеклянной трубки, концы которой заливаются смолой, чтобы воспрепятствовать высыханію бумаги. Электроды отъ противоположныхъ конечныхъ кружковъ (бумажнаго + и цинковаго —) пропущены черезъ смоляную заливку и годами сохраняютъ разность потенціаловъ. Въ Оксфордѣ, въ университетской лабораторіи, имѣется столбъ Замбони, электродами котораго служатъ два металлическихъ колокольчика. Между ними качается латунный шарикъ. Коснувшись положительнаго электрода, онъ заряжается положительнымъ эл—омъ и, оттолкнувшись отъ этого электрода, притягивается другимъ и т. д. Звонъ этого аппарата раздается уже болѣе 50 лѣтъ, а столбъ все еще не разрядился.

Въ электроскопѣ Боненбергера тоже примѣненъ столбъ Замбони (§ 6, гл. I, ч. II).

II. Гальваническій токъ.

§ 1. **Направленіе тока**. Соединяя помощью проводника поверхности, имѣющія различные потенціалы (напримѣръ, кондукторы работающей электрической машины или полюсы гальваническаго элемента), возбуждаемъ въ проводникѣ токъ, продолжающійся до тѣхъ поръ, пока потенціалы соединенныхъ проводникомъ поверхностей уравняются.

За направленіе тока принимаютъ направленіе отъ источника большаго потенціала къ источнику меньшаго, какъ направленіе теченія жидкости по трубѣ, соединяющей резервуары разныхъ уровней. Такимъ образомъ гальваническій токъ представляетъ продолжительный, непрерывный разрядъ между проводниками разныхъ потенціаловъ, идущій по соединяющему ихъ проводнику.

§ 2. **Сила тока (J)**. *Силою тока*, выражаемою въ амперахъ, *называютъ количества электричества, протекающаго по проводнику въ 1 секунду.* Подобно тому какъ въ трубѣ, независимо отъ измѣненія ея сѣченія по длинѣ, количество жидкости, протекающей въ опредѣленное время, одинаково для любого сѣченія

(мѣняется лишь скорость), такъ и въ проводникѣ сила тока по всей длинѣ его одна и та же.

Единицею силы тока служитъ 1 амперъ, т. е. $3 \cdot 10^9$ *LE (1 кулонъ) въ 1 секунду* Въ электротехникѣ принимаютъ иногда за единицу амперъ-часъ, т. е. прохожденіе по проводнику одного ампера въ теченіе часа=3600 амп.-секундамъ.

§ **3. Электродвижущая сила** (е). Причиною движенія электричества по проводнику является разность потенціаловъ на его концахъ (на полюсахъ, имъ соединяемыхъ). *Разность потенціаловъ* полюсовъ, соединенныхъ проводникомъ, называется *электровозбудительной* или *электродвижущей* силой. (Первое точнѣе).

Единицею электродвижущей силы служитъ вольтъ. Электродвижущая сила гальваническихъ элементовъ колеблется въ предѣлахъ отъ одного и почти до двухъ вольтъ. Такъ, элементъ Вольты (цинкъ, сѣрная кислота, мѣдь) имѣетъ электродвижущую силу, равную 1,06 вольтъ.

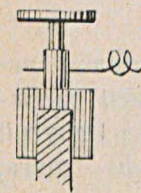


Рис. 88.

§ **4. Паденіе потенціала въ цѣпи.** Потенціалъ тока по длинѣ проводника непрерывно мѣняется, будучи у *борновъ* (*зажимовъ, клеммъ*), которыми проводникъ прикрѣпленъ къ полюсамъ (рис. 88), равнымъ потенціалу полюсовъ.

Двѣ точки X и Y, произвольно взятыя гдѣ-либо по длинѣ проводника, имѣютъ разность потенціаловъ меньшую, чѣмъ въ конечныхъ точкахъ проводника. Эта разность тѣмъ меньше, чѣмъ ближе точки другъ къ другу. Разность потенціаловъ на единицѣ длины проводника (за единицу берутъ 1 м.) называется *паденіемъ потенціала* цѣпи.

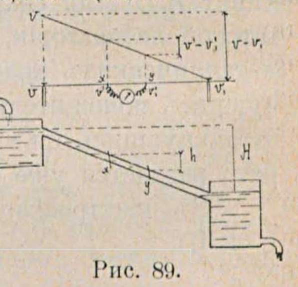


Рис. 89.

И здѣсь мы можемъ провести полную аналогію съ трубой, соединяющей уровни двухъ резервуаровъ жидкости (рис. 89). Если уровни эти все время остаются въ резервуарахъ одинаковыми (изъ нижняго резервуара вода стекаетъ, а въ верхній непрерывно доливается), то и разность уровней въ началѣ и концѣ трубы равна разности уровней резервуаровъ. Разность уровней въ точкахъ X и Y трубы h менѣе разности уровня соединяемыхъ ею источниковъ.

Омъ въ 1826 г. показалъ, что *въ однородномъ проводникѣ, величина сѣченія котораго неизмѣнна по всей длинѣ, паденіе потенціала—величина постоянная.*

Такъ, если на концахъ телеграфной проволоки, длиною въ 1 килом., напряженія равны 7,5 и 1,5 вольтамъ, то электродвижущая сила будетъ 6 вольтъ, а паденіе потенціала 0,006 вольтъ. (Подробнѣе будетъ указано въ гл. X, § 1).

§ **5. Работа гальваническаго тока.** Для вычисленія работы тока между произвольно взятыми точками цѣпи, по которой онъ идетъ, надо знать силу тока (одинаковую въ каждой точкѣ цѣпи) и электродвижущую силу между данными точками. Понятно, что для всей цѣпи послѣдняя будетъ равна разности потенціаловъ полюсовъ источника тока.

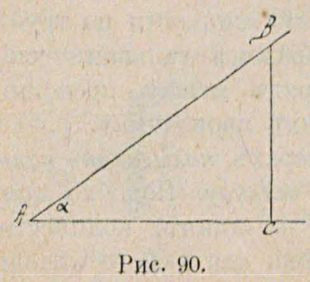


Рис. 90.

При поднятіи груза p на высоту $h=BC$ (рис. 90) мы производимъ, независимо отъ вида траекторіи AB, по которой двигался грузъ, работу $p.h.$ Она затрачивается на преодолѣніе притяженія груза землею. Ту же

работу ph произведетъ грузъ p, падая съ высоты BC, по какой бы линіи BA, или всякой другой, ни происходило паденіе. Аналогично этому работа тока есть перемѣщеніе нѣкотораго количества электричества съ уровня одного потенціала на уровень другого. Разность потенціаловъ на концахъ проводника (электродвижущая сила) можетъ быть сравнена съ высотою h въ первомъ примѣрѣ, а сила тока (количество перемѣщаемаго электричества) съ массой груза p.

Работа тока выражается произведеніемъ силы тока на электродвижущую силу и на время.

$$T = e . J . t$$

За единицу работы (мощность) принимаютъ работу въ 1 секунду, равную 1 уатту (вольтъ-амперу).

Для опредѣленія, напримѣръ, работы тока на протяженіи 1 м. телеграфной проволоки, паденіе потенціала которой 0,006 вольтъ, а количество электричества, протекающее въ 1 сек. (сила тока), 2 ампера, надо перемножить эти данныя.

Работа будетъ равна

$$0{,}006 \times 2 = 0{,}012 \text{ уатта (вольтъ-ампера)}$$

$$= 0{,}012 \cdot \frac{1}{9{,}81} = 0{,}0013 \text{ кгм.}$$

$$= 0{,}0013 \cdot \frac{1}{424} = 0{,}000003 \text{ калорій (см. ч. II, гл. 9, § 7).}$$

Въ электротехникѣ выражаютъ работу въ килоуаттчасахъ, т. е. принимаютъ за единицу работы 1000 уаттовъ, выработанныхъ въ теченіе часа.

§ 6. Сравненіе электрической машины и гальваническаго элемента. Между двумя источниками полученія электричества, статическими машинами и гальваническими элементами, можно провести слѣдующую параллель: (рис. 91—92).

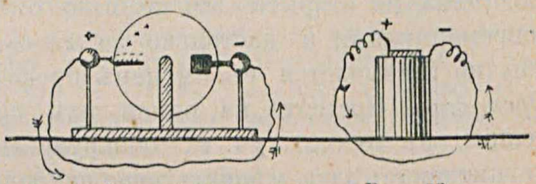


Рис. 91. Рис. 92.

a) Машина, приведенная въ дѣйствіе, развиваетъ тепло и положительное и отрицательное электричество, при чемъ потенціалъ ея полюсовъ не можетъ превзойти извѣстнаго максимума.

Разность потенціаловъ около 90,000 вольтъ.

b) При соединеніи полюсовъ проводникомъ въ немъ возникаетъ токъ, стремящійся уравнять потенціалы.

c) Вращеніе машины производится медленно, теченіе же электричества по проводнику весьма быстро, такъ что поддержать разность потенціаловъ полюсовъ машины, соединенныхъ проводникомъ, не удается: количество возбуждаемаго треніемъ электричества для этого слишкомъ незначительно.

a) При химическомъ взаимодѣйствіи тѣлъ, входящихъ въ составъ элемента, развивается тепло и положительное и отрицательное электричество, имѣющее опредѣленную постоянную разность потенціаловъ на полюсахъ даннаго элемента.

Разность потенціаловъ около 1,5 вольта.

b) То же самое явленіе наблюдается и въ элементѣ.

c) Молекулы въ ихъ химическомъ взаимодѣйствіи работаютъ такъ быстро, что, несмотря на громадную скорость теченія электричества по проводнику, разность потенціаловъ полюсовъ остается неизмѣнной.

Количество развиваемаго въ 1 секунду электричества около 0,000001 ампера.

d) Работа тока около 90,000. $\frac{1}{1000000}$ *= 0,09 уатта.*

e) Напряженіе на полюсахъ весьма велико, почему потеря электричества черезъ окружающій воздухъ весьма значительна.

Количество развиваемаго въ 1 секунду электричества около 2 и болѣе амперовъ.

d) Работа тока не менѣе 1,5×2= 3 уаттъ.

e) Напряженіе такъ незначительно, что потеря электричества черезъ воздухъ неизмѣримо мала.

Резюмируя данныя этого сравненія, скажемъ, что въ случаяхъ, когда нужно имѣть значительную разность потенціаловъ тока (токъ высокаго напряженія), слѣдуетъ пользоваться электрической машиной; если нужно имѣть токъ значительной силы, то источникомъ его надо брать гальваническіе элементы. Сверхъ того работа элементовъ экономнѣе машины и совершенно безопасна. Прикосновеніе къ полюсамъ элемента не вызываетъ непріятныхъ физіологическихъ ощущеній.

III. Дѣйствіе тока на магнитъ.

§ **1. Открытіе Эрстедта.** Въ 1802 г. итальянецъ *Романьези* замѣтилъ отклоненіе магнитной стрѣлки подъ вліяніемъ гальваническаго тока, но открытіе это не было оцѣнено современниками и настолько забылось, что обычно связывается съ именемъ профессора *Эрстедта.* Эрстедтъ на одной изъ своихъ лекцій, въ 1820/21 уч. г., обнаружилъ, что магнитная стрѣлка мѣняетъ свое направленіе, находясь вблизи проводника, по которому идетъ токъ.



Христіанъ Эрстедтъ.

Законы, которымъ подчиняется это явленіе, были выведены *Амперомъ, Ленцемъ* и др. физиками.

При прохожденіи тока надъ магнитной иглой, установленной въ плоскости магнитнаго меридіана, послѣдняя стремится занять положеніе, перпендикулярное къ направленію тока (рис. 93).

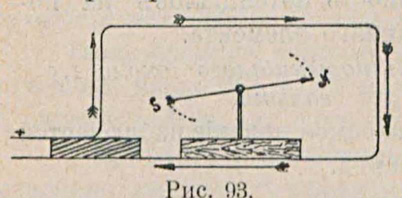


Рис. 93.

Чтобы нагляднѣе показать направленіе тока въ проводникѣ, можно пользоваться приборомъ Кольбе (рис. 94), въ которомъ токъ всегда идетъ въ направленіи, указанномъ на чертежѣ маленькими стрѣлками, а на самомъ приборѣ картонной стѣлкой, наклеенной на прямую часть проводника. Располагая приборъ надъ магнитной стрѣлкой такъ, чтобы стрѣлка прибора была ей параллельна, и пропуская черезъ приборъ токъ, наблюдаемъ отклоненія магнита.

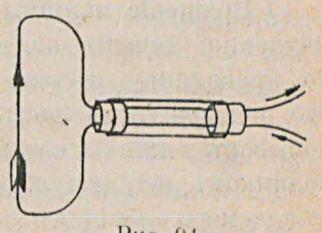


Рис. 94.

Согласно закону *Ампера, направленіе отклоненія* стрѣлки *находится въ зависимости отъ направленія тока.*

Законъ свой Амперъ формулировалъ такъ: *„воображая наблюдателя плывущимъ по направленію тока и обращеннаго лицомъ къ стрѣлкѣ, замѣтимъ отклоненіе сѣвернаго конца ея влѣво отъ наблюдателя.*

Ленцъ выразилъ этотъ законъ проще: *„расположивъ правую руку, ладонью къ стрѣлкѣ, по направленію тока, замѣтимъ отклоненіе тока въ сторону большого пальца*".

Земной магнитизмъ продолжаетъ при этомъ дѣйствовать на стрѣлку, стремясь вернуть ее въ прежнее положеніе. Такимъ образомъ направленіе стрѣлки подъ вліяніемъ тока не будетъ перпендикулярнымъ къ прежнему, а совпадетъ съ направленіемъ равнодѣйствующей двухъ силъ: горизонтальной составляющей земного магнитизма (ч. I, гл. V, § 5) и отклоняющей силы тока. Такъ какъ эта отклоняющая сила увеличивается по мѣрѣ увеличенія степени намагничиванія стрѣлки, то направленіе равнодѣйствующей отъ степени намагничиванія не зависитъ. Однако, уголъ отклоненія стрѣлки α не представляетъ постоянной величины.

§ 2. **Зависимость угла α отъ числа оборота въ проводникѣ и силы тока.** Легко убѣдиться опытомъ, что, если вмѣсто одного проводника взять такихъ же два, три и т. д., то съ введеніемъ каждаго новаго проводника уголъ отклоненія магнитной стрѣлки возрастаетъ. То же самое наблюдается при возрастаніи силы тока.

Изъ треугольника *abc* (рис. 95) видно, что отклоняющая сила $S=Htg\alpha$; сила эта пропорціональна силѣ тока и тангенсу угла отклоненія стрѣлки. Увеличивая силу тока вдвое (или взявъ два оборота проводника), найдемъ изъ треугольника $a'b'c'$ — что: $2S=Htg\alpha'$, и вообще, что $S_n=Htg\alpha_n$. Такъ какъ величина H —, горизонтальная составляющая земного магнитизма, остается при возрастаніи S неизмѣнной, то

$$S : S' = tg\alpha : tg\alpha'.$$

Принявъ же во вниманіе, что: $J : J_1 = S : S_1$, можемъ написать: $J : J' = tg\alpha : tg\alpha'$ т. е. *сила тока прямо пропорціональна тангенсу угла отклоненія стрѣлки.*

Рис. 95.

§ 3. **Тангенсъ-буссоль.** На основаніи этого закона, въ 1837 г. *Нервандеромъ* построенъ приборъ, служащій для измѣренія силы тока, называемый *тангенсъ-буссолью* или *тангенсъ-гальванометромъ*. Онъ состоитъ изъ мѣднаго кольца (рис. 96), установленнаго въ плоскости магнитнаго меридіана, по которому идетъ испытуемый токъ, и компаса. Стрѣлка компаса помѣщена въ центрѣ кругового проводника и имѣетъ длину не болѣе 1/6 части его діаметра.

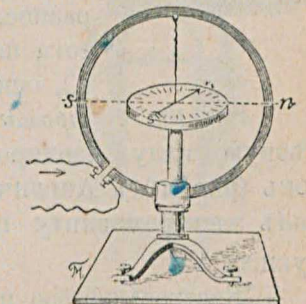


Рис. 96.

Зная силу тока J, отклоняющую стрѣлку на 45°, изъ уравненія $J : J = tg\alpha : tg45°$ найдемъ силу изслѣдуемаго тока умноженіемъ величины J на тангенсъ угла, отсчитываемаго при наблюденіи: $J_1 = Jtg\alpha$.

§ 4. **Мультипликаторъ.** Для обнаруженія весьма слабыхъ токовъ и измѣренія ихъ силы служитъ изобрѣтенный *Швейгеромъ* въ 1820 г. *мультипликаторъ* (умножатель), основанный на томъ же принципѣ какъ и тангенсъ-буссоль. Въ современномъ видѣ онъ состоитъ изъ *астатической* стрѣлки и проводника въ нѣсколько сотенъ и даже тысячъ оборотовъ (рис. 97).

Астатическая стрѣлка (рис. 98) представляетъ комбинацію двухъ магнитныхъ стрѣлокъ на общемъ привѣсѣ, направленныхъ одноименными полюсами въ

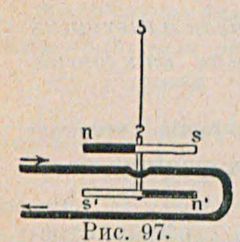
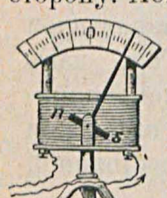


Рис. 97.

обратныя стороны. Если бы обѣ стрѣлки, ее составляющія, были намагничены совершенно одинаково, то дѣйствіе земного магнитизма на нее равнялось бы нулю. Если же одна изъ стрѣлокъ намагничена немного сильнѣе, то величина H незначительна, а потому такая стрѣлка весьма чувствительна. Обмотка проводника идетъ вокругъ одной изъ стрѣлокъ, а другая находится надъ обмоткой, такъ что токъ отклоняетъ (правило Ленца) обѣ стрѣлки въ одну сторону. Астатическая стрѣлка изобрѣтена *Нобили* въ 1825 г.

Рис. 98.


Рис. 99.

§ 5. **Гальванометръ.** Для быстраго опредѣленія, есть ли токъ въ проводникѣ, какое его направленіе и какова приблизительно сила, служитъ *вертикальный гальванометръ* (рис. 99).

Магнитная стрѣлка гальванометра можетъ вращаться въ вертикальной плоскости, будучи такъ уравновѣшена, чтобы при отсутствіи тока въ окружающемъ ее проводникѣ, сохранять горизонтальное положеніе. Соединенный со стрѣлкой указатель при этомъ стоитъ вертикально на 0 шкалы. Пропуская токъ черезъ обмотку, наблюдаютъ отклоненіе указателя на встрѣчу направленію тока. При малыхъ стрѣлкахъ можно принять, что тангенсы угловъ отклоненія пропорціональны самимъ угламъ и измѣрять силу тока дѣленіемъ шкалы. Если каждое дѣленіе соотвѣтствуетъ амперу или его опредѣленной части, то приборъ носитъ названіе *амперметра.*

IV. Электромагнитъ и его примѣненія.

§ 1. **Теорія электромагнита.** Возникновеніе магнитнаго поля вокругъ проводника впервые было подмѣчено *Э. Швейгеромъ* въ 1808 г.

Въ 1820 г. г. *Араго*, а въ 1821 *Ампръ* обнаружили, что желѣзо пріобрѣтаетъ магнитныя свойства, находясь въ полѣ дѣйствія электрическаго тока. Явленіе происходитъ такъ, какъ будто элементарные магниты, расположенные въ намагниченномъ желѣзѣ въ безпорядкѣ, подъ вліяніемъ тока стремятся занять однообразное, перпендикулярное къ направленію тока положеніе (рис. 100). Ф. Араго (1821 г.), основываясь на этомъ, устроилъ *электромагнитъ*, оборачивая спирально желѣзную иглу изолированной проволокой, проводящей токъ (рис. 101). Англичанинъ *Стюрдженъ* въ 1825 г. придалъ электромагниту практически примѣнимую конструкцію.

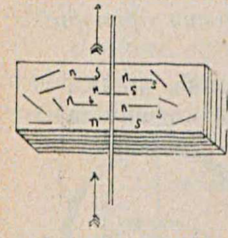

Рис. 100.

Рис. 101.

Жесткое желѣзо и сталь и по прекращеніи дѣйствія тока сохраняютъ магнитизмъ (ихъ молекулярные магниты остаются въ порядкѣ, ими пріобрѣтенномъ); въ мягкомъ желѣзѣ размагничиваніе наступаетъ тѣмъ скорѣе, чѣмъ чище желѣзо. Однако, какъ бы мягко ни было желѣзо, но отъ момента замыканія тока до полнаго его намагничиванія проходитъ нѣкоторое время, выражающееся долями секунды. Обратно, полная потеря магнитизма не совпадаетъ съ моментомъ размыканія тока. При наростающемъ токѣ, слѣдовательно, магнитизмъ

слабѣе, чѣмъ при убывающемъ. Явленіе это называется *гистерезисомъ* (отставаніемъ).

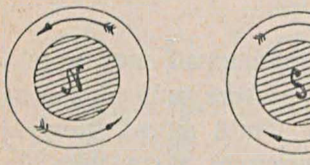


Рис. 102.

Чѣмъ больше оборотовъ вокругъ желѣзнаго стержня дѣлаетъ проводникъ тока, тѣмъ большее число молекулярныхъ магнитовъ перемѣщается въ опредѣленный порядокъ, тѣмъ сильнѣе намагничивается стержень. Сила намагничиванія возрастаетъ также съ силою тока и имѣетъ свой максимумъ. Чѣмъ желѣзо чище, тѣмъ этотъ максимумъ выше. Такимъ образомъ сила магнита пропорціональна числу *амперъ-оборотовъ* или *амперъ-витковъ*, т. е. произведенію изъ числа оборотовъ проводника на силу проходящаго по немъ тока. Въ наилучшемъ случаѣ электромагнитъ можетъ держать до 10 клг. на каждый квадратный сант. полюсной поверхности.

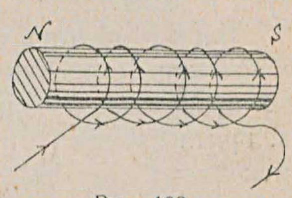


Рис. 103.

Для опредѣленія подъемной силы электромагнита, въ зависимости отъ напряженности поля H, выраженной числомъ силовыхъ линій на кв. см. (ч. I, гл. IV, § 4), *Максвель* далъ формулу $F = \frac{H^2 Q}{8 \pi}$, гдѣ Q обозначаетъ площадь сѣченія въ кв. см., а F подъемную силу въ динахъ. Чтобы выразить подъемную силу въ килограммахъ (1 дина $\frac{1}{981}$ гр.), напишемъ:

$$F = \frac{H^2 Q}{8 \pi . 981000} \text{ кг.}$$

Полярность электромагнита зависитъ отъ направленія тока, подчиняясь правилу Ампера, которое въ примѣненіи къ этому случаю можетъ быть выражено такъ: *направленію тока по часовой стрѣлкѣ соотвѣтствуетъ южный, а противоположному—сѣверный полюсъ электромагнита* (рис. 102).

Если смотрѣть на стержень (сердечникъ) электромагнита, ставши у конца его *S* (рис. 103), то токъ отъ батареи будетъ имѣть направленіе, соотвѣтствующее движенію часовой стрѣлки: у *S* возбудится южный полюсъ. Обратно, ставъ передъ концомъ *N* будемъ имѣть передъ собою токъ, идущій противъ часовой стрѣлки: въ *N* возникнетъ сѣверный полюсъ. Рисунокъ 104 представляетъ магнитное поле вокругъ электромагнита.

N

S

Рис. 104.

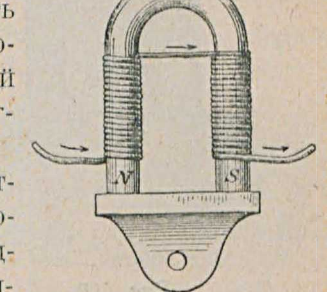


Рис. 105.

Сердечникъ электромагнита дѣлается какъ цилиндрической, такъ и подковообразной формы (рис. 105) Закругленная часть послѣдняго носитъ названіе *ярма* (Joch), а прямыя части называются колѣнами (по терминологіи нѣмецкихъ учебниковъ бедрами—Schenckel).

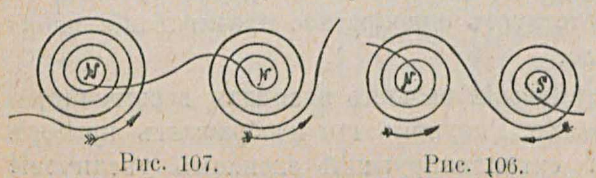


Рис. 107. Рис. 106.

При расположеніи обмотки, указанномъ на рис. 106, въ концѣ одного изъ колѣнъ возникаетъ южный, а другого сѣверный полюсъ.

Обматывая же въ направленіи, указанномъ на рис. 107, получимъ одноименные полюсы въ концахъ колѣнъ магнита, а противоположный имъ общій полюсъ въ срединѣ ярма.

§ 2. **Электрическій звонокъ.** Этотъ наиболѣе распространенный изъ приборовъ (изобрѣтенный въ 1850 г. *Д. Марандомъ*), главною дѣйствующею частью котораго служитъ электромагнитъ *E* (рис. 108 схема, 109 общій видъ), помимо послѣдняго, состоитъ изъ прерывателя тока *Вагнера* (молоточка), проводовъ, батареи и замыкателя тока—кнопки *P*.

Электромагнитъ состоитъ изъ прямого или подковообразнаго сердечника съ обмоткой изъ тонкой мѣдной проволоки, изолированной шелкомъ. Якорь магнита, притягиваемый имъ въ моментъ замыканія тока, въ спокойномъ состояніи оттянутъ нѣсколько назадъ пружиной *B* и упирается въ остріе прерывателя *K*, который винтомъ *S* можетъ быть приближенъ или удаленъ отъ магнита. Такое регулированіе разстоянія необходимо для соотношенія силъ: магнита *E*, притягивающаго якорь, и пружины *B*, отталкивающей его въ прежнее положеніе при размыканіи (прекращеніи) тока.

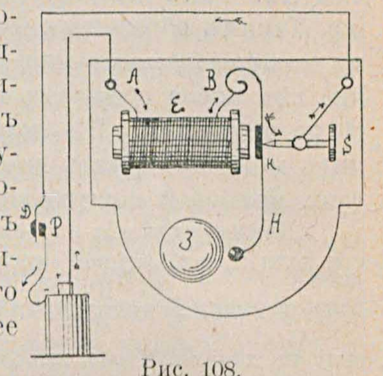
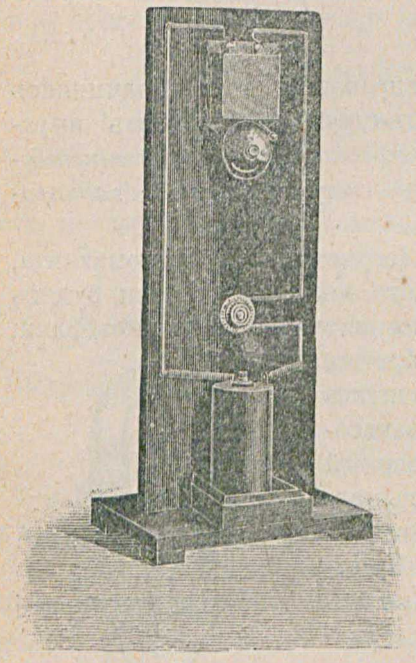


Рис. 108.

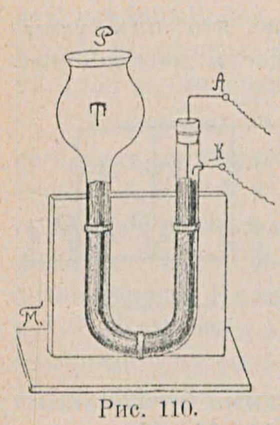
Провода между кнопкой, звонкомъ и батареей дѣлаются изъ мѣдной изолированной проволоки. Кнопка въ спокойномъ состояніи, какъ видно на рисункѣ, прерываетъ проводъ отъ источника тока къ электромагниту, а при нажатіи пуговки *D* замыкаетъ, приводя въ соприкосновеніе концы проводниковъ. При замыканіи тока кнопкой онъ, проходя по обмоткѣ отъ *A* къ *B*, возбуждаетъ магнитизмъ въ сердечникѣ *E*; въ моментъ же, когда якорь притянется сердечникомъ, путь тока прерывается въ *K*, молоточекъ *H*, ударившись о звонокъ *Z*, вновь отскакиваетъ, возвращаемый пружиной *B* въ прежнее положеніе. Въ то же мгновеніе токъ опять получаетъ возможность идти отъ *B*, черезъ *K* въ *S* и далѣе въ батарею; якорь вновь притягивается и т. д. до тѣхъ поръ, пока прижата кнопка *P*. Звонъ такого звонка дребезжащій.

Когда надо заставить дѣйствовать нѣсколько звонковъ отъ одной кнопки, то прерыватель ставятъ лишь на одномъ изъ нихъ.


Рис. 109.

Для одиночныхъ ударныхъ звонковъ прерыватель Вагнера не нуженъ; въ нихъ каждому нажатію кнопки соотвѣтствуетъ однократное притягиваніе якоря и слѣдовательно одинъ ударъ колокола.

Какъ сигнальный приборъ, электрическій звонокъ находитъ весьма широкое примѣненіе въ различныхъ случаяхъ. Рисунокъ 110 изображаетъ приборъ для диффузіи газовъ, автоматически сигнализирующій звонкомъ увеличеніе


Рис. 110.

объема газа въ расширенiи колѣна трубки *T*. Газъ, проникнувъ черезъ пористую перепонку *P*, давитъ на ртуть, налитую въ трубкѣ. Уровень ея въ другомъ колѣнѣ повышается и она замыкаетъ проводникъ *AK*, соединенный съ электрическимъ звонкомъ, который начинаетъ звонить. Подобное же устройство примѣнимо къ термометру, помѣщенному въ пространствѣ, температура котораго не должна превосходить извѣстнаго предѣла (пороховыя камеры, угольныя ямы на судахъ, паровые котлы и т. п). При достиженiи температурой опаснаго предѣла столбикъ ртути въ термометрѣ повысится настолько, что замкнетъ, какъ и въ описанномъ приборѣ, токъ, приводящiй въ дѣйствiе электрическiй звонокъ, который и укажетъ на грозящую опасность. Съ этой же цѣлью надъ концами прерваннаго проводника располагаютъ кусочекъ легкоплавкаго сплава. Расплавившись при достиженiи температуры окружающаго пространства до точки его плавленiя, сплавъ падаетъ на концы проводника и, замыкая его, приводитъ въ дѣйствiе электрическiй звонокъ.

Пониженiе уровня воды въ паровомъ котлѣ представляетъ серьезную опасность, такъ какъ можетъ вызвать взрывъ котла. Предупредить пониженiе уровня ниже нормы можно при помощи прибора, схематически изображеннаго на рис 111-мъ. Поплавокъ *P* укрѣпленъ на металлическомъ стержнѣ, могущемъ вращаться по оси *S*. При пониженiи уровня воды поплавокъ опускается въ положенiе, указанное на рисункѣ пунктиромъ, при чемъ конецъ стержня *K* касается металлической пластинки *M*, соединенной съ однимъ изъ полюсовъ электрическаго звонка, тогда какъ другой полюсъ послѣдняго соединенъ со стержнемъ поплавка. Происходящее при этомъ замыканiе тока заставитъ звучать звонокъ.

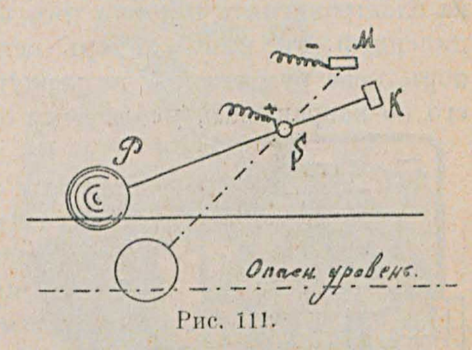


Рис. 111.

Аналогичнымъ образомъ устраиваютъ предохранители отъ воровъ, дверные сигнализаторы и пр.

§ 3. Электрическiй звонокъ съ провѣркой дѣйствiя и номерной указатель. Чтобы убѣдиться въ томъ, что сигналъ, подаваемый электрическимъ звонкомъ, услышанъ, вводятъ въ цѣпь, состоящую изъ батареи *P* (рис. 112), звонка *S* и кнопки *A*, прерыватель *B* и электромагнитъ *E* съ якоремъ *R*, помѣщеннымъ около кнопки *A*.

При нажатiи кнопки *A* токъ, проходя черезъ электромагнитъ *E*, притягиваетъ якорь *R*.

Прерыванiе тока въ звонкѣ возвращаетъ якорь *R* въ прежнее положенiе. Такимъ образомъ дрожанiе его указываетъ звонящему, что батарея, звонокъ и провода въ исправности.

Рис. 112.

Лицо, къ которому относится сигналъ, въ доказательство, что онъ услышанъ, нажимаетъ кнопку *B*, размыкая токъ, и тѣмъ прекращаетъ дрожаніе якоря *R*, не смотря на нажатіе кнопки *A*.

Одинъ и тотъ же звонокъ можетъ обслуживать нѣсколько помѣщеній. Въ тѣхъ случаяхъ, когда лицо, которому подаютъ сигналъ, должно знать, откуда его зовутъ, въ цѣпь вводятъ номерной указатель, показывающій номеръ нажатой кнопки. Такіе указатели необходимы въ гостинницахъ, банкахъ, канцеляріяхъ и пр. Схематическій рис. 113 даетъ понятіе объ устройствѣ этого приспособленія.

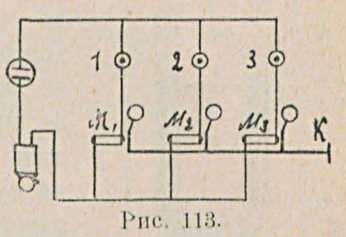


Рис. 113.

Указатель заключенъ въ деревянный ящикъ съ круглыми стеклянными окошечками и состоитъ изъ нѣсколькихъ электромагнитовъ M_1, M_2, M_3 (по числу кнопокъ, введенныхъ въ звонковую цѣпь). Прижимая, напр., кнопку № 2, пропускаютъ токъ черезъ соединенную съ ней обмотку и тѣмъ притягиваютъ нижній конецъ стрѣлки, вращающейся около шпенька.

Этотъ конецъ слабо магнитенъ и притянувшись не отстаетъ отъ сердечника электромагнита и послѣ того, когда токъ въ цѣпи разомкнутъ, такъ что соединенный съ нимъ номеръ остается противъ стекляннаго окошечка до тѣхъ поръ, пока рукояткой *K* не вернутъ указатель въ прежнее положеніе, оттянувъ его по направленію, указанному стрѣлкой.


Рис 114.

Въ тѣхъ случахъ, когда желательно избѣгнуть рѣзкаго звука звонка, его замѣняютъ т. наз. сиреной (рис. 114). Она состоитъ изъ чугунной коробки и прикрѣпленнаго къ ней снизу рупора, усиливающаго звукъ. Между ними плотно зажата тонкая металлическая пластинка (мембрана), ритмическое колебаніе которой даетъ сильный и чистый звукъ. Сирена включается въ обыкновенную звонковую цѣпь, состоящую изъ источника тока въ 4 вольта, проводовъ и кнопки.

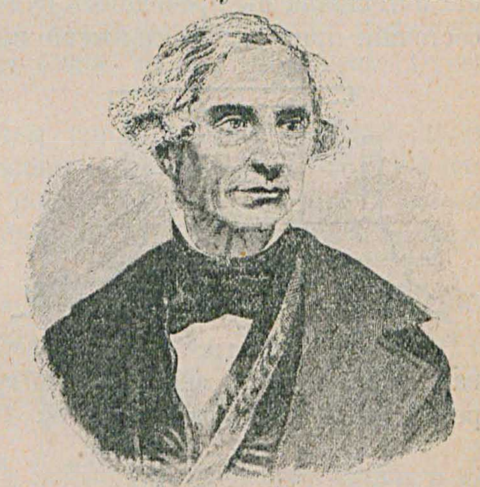
При прохожденіи тока черезъ обмотку элекромагнита, помѣщеннаго въ коробкѣ, якорь *Я* притягивается, давая соединенной съ нимъ мембранѣ толчекъ внизъ; при размыканіи якорь пружиной *K* возвращается въ прежнее положеніе, увлекая за собой и мембрану. Размыканіе происходитъ автоматически, такъ какъ въ моментъ опусканія якоря прерывается контактъ между пружиной *K*, соединенной съ однимъ полюсомъ батареи и винтомъ, соединеннымъ съ другимъ. Дрожаніе и звучаніе мембраны продолжается все время, пока нажата кнопка.

§ 4 **Телеграфъ (исторія)**. Еще *Порта* (см. ч. I, гл. I, § 2) пытался, хотя и безуспѣшно, примѣнить магнитъ для сигнализаціи на разстояніе. Въ 1774 г. для замѣны общепринятой въ XVIII столѣтіи оптической телеграфіи *Лесажу* построилъ электростатическій телеграфъ. Буквамъ азбуки въ этомъ телеграфѣ соотвѣтствовали 24 бузинныхъ маятника, установленныхъ на станціи полученія депешъ и заряжавшихся по металлическимъ проводамъ со станціи отправленія

отъ находившейся на ней электростатической машины. Подобные электростатическіе телеграфы впрочемъ устраивались и раньше, напр., *Ч. Марчисономъ*, въ 1753 г., но практическаго значенія не имѣли.

Зёммерингъ въ 1809 г. первый для той же цѣли примѣнилъ гальваническій токъ, замѣнивъ электростатическую машину телеграфа Лесажу гальванической батареей, а маятники приборами для разложенія воды. Практическаго примѣненія эти телеграфы не имѣли. Пріоритетъ устройства перваго телеграфа, практически примѣненнаго въ 1832 г. между Зимнимъ Дворцомъ и зданіемъ Министерства Путей Сообщенія, принадлежитъ нашему соотечественнику, барону *П. Л. Шилингъ-фонъ-Канштадту*. Его телеграфъ былъ основанъ на отклоняющемъ дѣйствіи тока на стрѣлку мультипликатора. Въ слѣдующемъ году *Гаусъ и Веберъ* соединили лабораторію Геттингенскаго университета съ астрономической и магнитной обсерваторіями проводами для переговоровъ путемъ отклоненія стрѣлки гальванометра. Въ 1837 г. телеграфъ Шилинга былъ введенъ въ Англіи, въ измѣненіи *Водстона и Кука*. Въ томъ же году *Штейнгель* ввелъ запись на бумажной лентѣ.

Эти и дальнѣйшія попытки не получили широкаго распространенія. Только примѣненіе къ телеграфированію электромагнита, осуществленное впервые *Самуиломъ Морзе*, по мысли *Джаксона*, вывело это важное изобрѣтеніе на настоящій путь (1835—1840). Въ 1843 г. междугородная линія была устроена между Вашингтономъ и Балтиморой. Въ Россіи такое сообщеніе было осуществлено еще раньше, а именно въ 1839 г. Академикъ *Якоби* соединилъ Царское Село съ Петербургомъ аппаратомъ, являющимся прототипомъ аппарата Морзе, но писавшимъ на фарфоровой доскѣ, а не на бумагѣ.



Самуилъ Морзе.

§ 5. **Телеграфъ Морзе.** Схема этого аппарата такова: станція отправленія имѣетъ ключъ K (рис. 115), въ состояніи покоя размыкающій токъ въ цѣпи, а при нажатіи пуговки замыкающій его и батарею B, какъ источникъ тока.

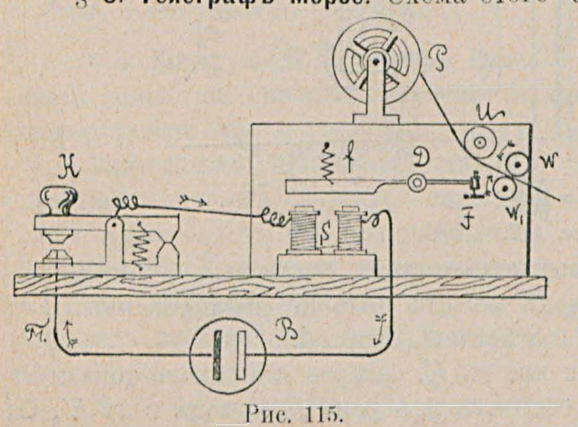


Рис. 115.

Принимающая станція имѣетъ электромагн. S, рычажный якорь D оттягиваемый отъ магнита пружиной f и снабженный пишущимъ штифтомъ F, и бумажную ленту. Лента намотана на роликъ P. Направляясь къ пишущему прибору, она огибаетъ валикъ U и проходитъ между валиками w и w_1, которые тянутъ ее, вращаясь на встрѣчу другъ другу. Токъ при нажатіи ключа, пробѣгая по проводу на станцію от-

правленія, возбуждаетъ магнитизмъ въ электромагнитѣ, который притягиваетъ якорь и тѣмъ прижимаетъ штифтъ къ движущейся бумажной лентѣ, отмѣчая на ней короткую или длинную черточку, смотря по тому, сколько времени былъ нажатъ ключъ.

Комбинація черточекъ и промежутковъ условно обозначаетъ буквы азбуки. (См. въ концѣ книги, въ таблицахъ).

Токъ изъ обмотки электромагнита по другому проводу возвращается въ батарею станціи отправленія.

Предшественникъ Морзе, *Штейнгель*, указалъ, что обратный металлическій проводъ успѣшно можетъ быть замѣненъ землей, что теперь обыкновенно и дѣлается. Упрощенный аппаратъ Морзе, такъ называемый *клопферъ*, не имѣетъ пишущаго прибора съ часовымъ механизмомъ, такъ что пріемъ депеши производится на слухъ.

§ **6. Релэ.** При удаленіи станціи полученія отъ станціи отправленія паденіе потенціала въ проводникѣ будетъ настолько значительнымъ, что токъ не въ состояніи привести въ движеніе пишущій приборъ.

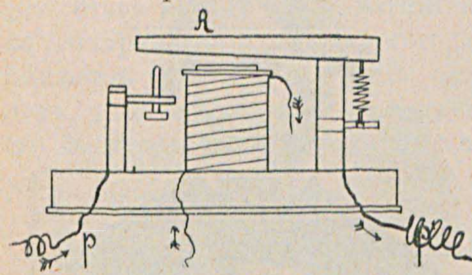


Рис. 116.

Въ этихъ случаяхъ въ телеграфную линію вводятъ особый приборъ—*релэ*, служащій для замыканія и размыканія тока особой мѣстной батареей, устанавливаемой на станціи полученія и приводящей, въ свою очередь, въ движеніе пишущій приборъ. Релэ изобрѣтено *Уитстономъ* въ 1840 году.

Токъ со станціи отправленія идетъ въ обмотку электромагнита (рис. 116), притягивающаго легенькій якорь *A*. Это притяженіе замыкаетъ токъ въ мѣстной батареѣ, идущій по проводамъ p, p_1.

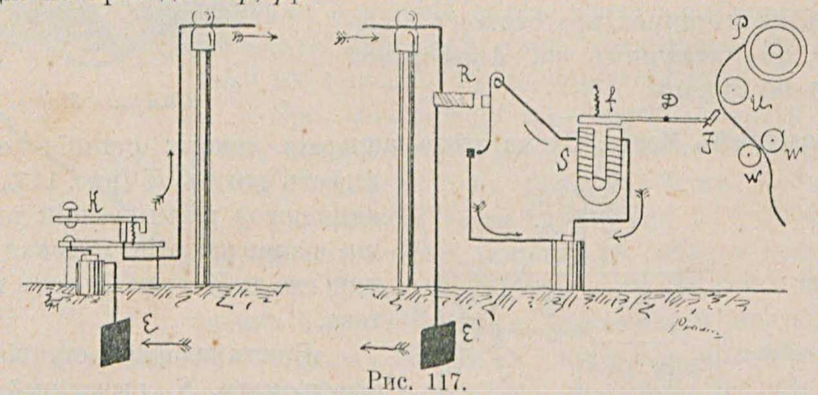


Рис. 117.

Рисунокъ 117 схематически показываетъ станціи, связанныя однимъ воздушнымъ проводомъ (воздушный проводъ можетъ быть не изолированный), съ обратнымъ соединеніемъ землею, релэ и мѣстной батареей.

На станціи отправленія находятся: ключъ *K*, батарея линейнаго тока и отводъ въ землю *E*. Станція полученія состоитъ изъ релэ *R*, отвода тока *E'*, батареи мѣстнаго тока, электромагнита *S* и пишущаго прибора. Обозначеніе частей пишущаго прибора то же, какъ на рисункѣ 115.

Понятно, что для обмѣна депешами всякая станція отправленія, будучи снабжена принимающими аппаратами, въ свою очередь, служитъ станціей полученія. Опытный телеграфистъ подаетъ около 100 буквъ въ минуту, а принимающій читаетъ депешу по слуху.

§ 7. **Телеграфъ Юза**. Желаніе получать вмѣсто условныхъ сигналовъ, допускающихъ ошибку при ихъ расшифровываніи, непосредственное писаніе буквами вызвало стремленіе изобрѣтателей устроить аппаратъ, печатающій буквы. Въ 1855 году *Юзъ* устроилъ аппаратъ, вошедшій въ практику лишь въ 60-хъ годахъ. Схема этого аппарата такова: станціи отправленія и полученія снабжены колесами, по окружности которыхъ нанесены буквы, цифры и знаки препинанія. По сигналу, даваемому станціей отправленія, эти *типовыя* колеса начинаютъ синхронически вращаться на обѣихъ станціяхъ.

Вращеніе производится при помощи паденія гири, а въ аппаратѣ, усовершенствованномъ русскимъ электротехник. *Бухгеймомъ*, отдѣльнымъ электромоторомъ.

Нажимъ на одну изъ клавишей клавіатуры, снабженной алфавитомъ, вызываетъ прижатіе ленты къ соотвѣтствующей буквѣ колеса станціи полученія въ моментъ, когда эта буква будетъ занимать самое низкое положеніе. Буква отпечатывается на лентѣ.

Опытный телеграфистъ можетъ помощью аппарата Юза передать до 40 словъ въ минуту. Еще быстрѣе работаютъ аппараты *Уитстона* и *Бодо*, введенные въ практику въ 70-хъ годахъ, и болѣе новые приборы: *Муррея*, *Сименса*, *Ролэнда* и др. Послѣдніе представляютъ комбинацію буквопечатающаго аппарата съ пишущей машинкой.

Въ настоящее время вся поверхность земного шара покрыта сѣтью телеграфныхъ проводовъ, общее протяженіе которыхъ не менѣе 2.000.000 километровъ. Проводовъ однѣхъ лишь европейскихъ телеграфныхъ станцій достаточно, чтобы ими 50 разъ обвить землю по экватору или соединить пятью телеграфными линіями земной шаръ съ луной.

Въ 1839 г. уже былъ проложенъ первый подводный кабель въ Индіи, а въ 1857 г. приступили къ соединенію Европы съ Америкой. Этотъ колоссальный трудъ былъ вполнѣ законченъ лишь въ 1866 г., такъ какъ прокладываемый кабель неоднократно разрывался.

§ 8. **Копирующій телеграфъ Казелли**. Дальнѣйшимъ успѣхомъ телеграфированія являются приборы, пока еще не вошедшіе въ практику, для автоматическаго копированія рукописей и рисунковъ.

Типичнымъ примѣромъ такихъ приборовъ можетъ служить *пантелеграфъ Казелли* (1856 г.), основанный на химическомъ дѣйствіи тока (см. гл. VI). Въ періодъ 1866—68 гг. такой аппаратъ работалъ на линіи Москва—Петербургъ.

Рис. 118.

На станціи отправленія токъ изъ батареи *B* идетъ въ металлическій листъ *L*. Касаясь листа послѣдовательно по параллельнымъ прямымъ, по его поверхности движется металлическій штифтъ *S*.

Токъ отъ анода батареи идетъ въ штифтъ S и черезъ листъ L возвращается въ батарею.

Штифты станцій отправленія и полученія движутся синхронически, а пластинка L' покрыта веществомъ, разлагающимся при прохожденіи тока и мѣняющимъ при этомъ свой цвѣтъ. Если на пластинкѣ L написать или нарисовать что-либо веществомъ, служащимъ изоляторомъ, то токъ, не будучи въ состояніи вернуться въ батарею кратчайшимъ путемъ, пойдетъ по линіи SS'; войдетъ въ штифтъ S', пластинку L' и возвратится въ батарею по земному проводу M_1M.

На пластинкѣ L' въ моментъ прохожденія тока черезъ движущійся по ней штифтъ получатся расплывчатыя, окрашенныя черточки, передающія рисунокъ, нанесенный на пластинкѣ L изолирующимъ веществомъ.

Описаніе болѣе современныхъ аппаратовъ, передающихъ на разстояніе рисунки и фотографіи, будетъ дано ниже (ч. IV, гл. IV, § 8).

§ 9. **Электродвигатель.** Электродвигатель (моторъ) съ кольцомъ *Грамма* состоитъ изъ подковообразнаго магнита SN (рис. 119), между полюсами котораго вращается полый цилиндръ изъ мягкаго желѣза. Длина цилиндра немногимъ разнится отъ его діаметра, почему онъ и носитъ названіе кольца.

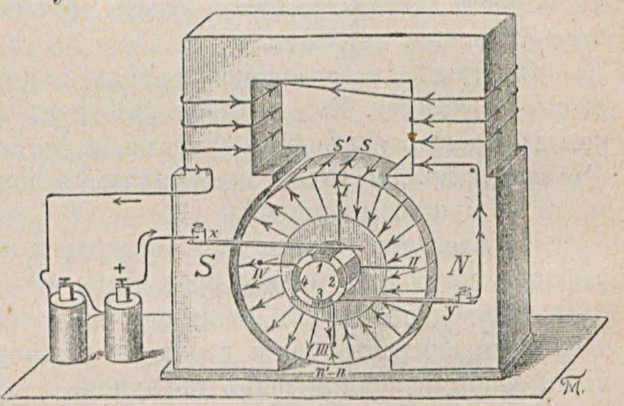


Рис. 119.

Кольцо обмотано толстой, хорошо изолированной мѣдной проволокой, образующей одну замкнутую катушку.

Кольцо наглухо посажено на ось, вмѣстѣ съ которой вращается. На выступающихъ цапфахъ оси врѣзаны 4 (можетъ быть и больше) мѣдныхъ сектора. Сверху и снизу къ нимъ прилегаютъ такъ называемыя щетки,—проводники, касающіеся двухъ діаметрально противоположныхъ секторовъ и соединенные съ источникомъ тока (на рисункѣ съ батареей) клеммами x, y.

4 сектора соединены проводниками съ 4 симметрично лежащими частями обмотки кольца I, II, III и IV. Токъ отъ любого источника, на рисункѣ отъ анода батареи, идетъ въ клемму x, въ верхнюю щетку, въ секторъ I и отсюда въ обмотку, а именно въ I часть, гдѣ дѣлится, направляясь частью въ правую, частью въ лѣвую ея половину. Внизу обмотки въ III обѣ части соединившись идутъ черезъ секторъ, нижнюю щетку, клемму y и обмотку магнита обратно къ катоду батареи.

При указанномъ направленіи тока въ верхней половинѣ желѣзнаго кольца возбуждается (правило Ампера) южный, а въ нижней сѣверный полюсъ магнита. Во внѣшнемъ же магнитѣ въ правомъ колѣнѣ южный, а въ лѣвомъ сѣверный. Полюсъ S внѣшняго магнита при этомъ притягиваетъ полюсъ n якоря и отталкиваетъ верхній полюсъ s, а полюсъ N обратно: притягивая полюсъ s, отталкиваетъ нижній полюсъ n.

Кольцо (якорь электромагнита) приходитъ во вращеніе. Предѣломъ вращенія явится положеніе кольца, на 90° отличающееся отъ первоначальнаго, когда

полюсъ s, притянувшись къ полюсу N, а n къ S, станутъ въ ближайшее къ нимъ положеніе. Но въ этотъ моментъ подъ верхнюю щетку подойдетъ секторъ 2, а подъ нижней станетъ 4, полюсы s и n тотчасъ перемѣстятся въ прежнее положеніе.

Такимъ образомъ вращеніе будетъ непрерывнымъ. Если пропускать токъ по направленію обратному показанному на рисункѣ, то якорь будетъ вращаться не противъ, а по часовой стрѣлкѣ.

Въ этомъ двигателѣ, слѣдовательно, электромагнитная энергія преобразуется въ механическую работу. Такія машины называются *вторичными*.

Съ первичными машинами, развивающими токъ при затратѣ механической работы, мы ознакомимся въ самомъ концѣ нашего курса.

Какъ Морзе имѣлъ рядъ предшественниковъ въ устройствѣ телеграфа, такъ равно и парижскій рабочій Граммъ (1869 г.) не первый придумалъ машину для превращенія электрической энергіи въ механическую. Его заслуга лежитъ въ практическомъ осуществленіи идеи, до него осуществленной на модели (но ему не бывшей извѣстной) профессора *Пачинотти* (1860 г.). Впрочемъ еще раньше Пачинотти, о чемъ обыкновенно не упоминаютъ въ курсахъ физики, датчанинъ *Соренъ Хіортъ*, въ 1854 или 55 году, сдѣлалъ подобный же двигатель.

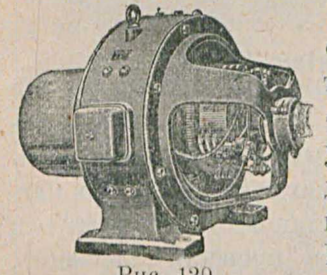


Рис. 120.

Электродвигатели безъ граммовскаго кольца существовали и раньше. *Дель Негри* первый устроилъ электродвигатель еще въ 1834 г., и въ томъ же году *М. Якоби* началъ работать надъ его улучшеніемъ; а въ 1838 г. уже смогъ приводить имъ въ движеніе шлюпку. Однако до Грамма приборы для превращенія электрической энергіи въ механическую не имѣли практическаго значенія. Въ настоящее время электромоторы, приводимые въ дѣйствіе токомъ высокаго напряженія, получили весьма широкое и самое разнообразное примѣненіе въ обыденной жизни, мелкой и крупной промышленности Ихъ строятъ мощностью отъ 0,01 лош. силы до нѣсколькихъ тысячъ. Внѣшній видъ электромоторовъ современной конструкціи изображенъ на рис. 120.

§ 10 Электромагнитный тормазъ. Въ главѣ о магнитизмѣ (ч. I, гл. V, § 6) мы уже упомянули о различныхъ примѣненіяхъ электромагнита. Опишемъ еще схему устройства простѣйшаго изъ электромагнитныхъ тормазовъ, примѣняемыхъ въ практикѣ. Какъ видно изъ чертежа (рис. 121), приборъ состоитъ изъ электромагнита и собственно тормаза. Въ моментъ пуска тока въ обмотку a магнитъ притягиваетъ якорь b, соединенный съ рычагомъ c. Колодка D при этомъ нажимаетъ на колесо или валъ E и тормазитъ его вращеніе. Прекращеніе тока прекращаетъ дѣйствіе тормаза, опускающагося подъ вліяніемъ собственнаго вѣса въ положеніе, указанное на чертежѣ.

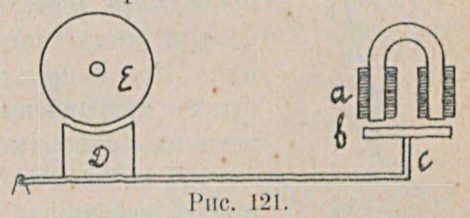
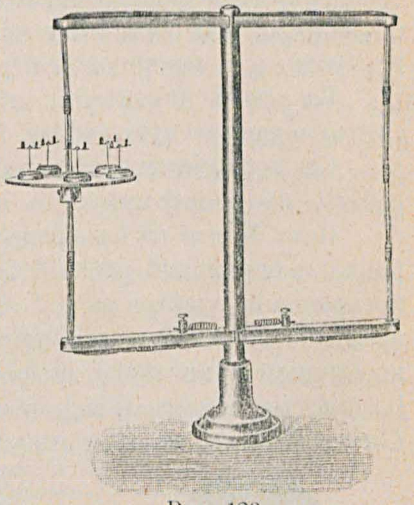


Рис. 121.

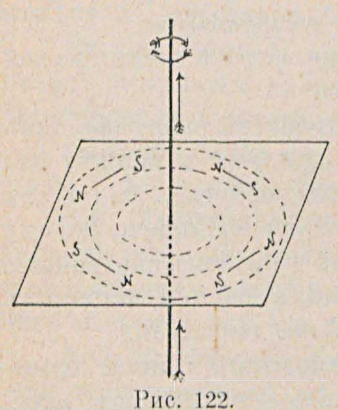
V. Магнитное поле гальваническаго тока.

§ **Магнитное поле прямого тока.** Нетрудно обнаружить, что при прохожденіи тока по проводнику вокругъ него образуется силовое поле. Для этого сквозь

кусокъ картона продѣваютъ прямолинейный проводникъ; картонъ осыпаютъ желѣзными опилками и, пропустивъ по проводнику токъ, встряхиваніемъ картона даютъ возможность опилкамъ расположиться по линіямъ магнитныхъ силъ. Опилки располагаются концентрическими окружностями, въ центрѣ которыхъ находится проводникъ (рис. 122).


Рис. 123.

Внося въ такое магнитное поле чувствительную магнитную стрѣлку (рисун. 123), замѣчаемъ: если токъ идетъ, снизу вверхъ, то сѣверный конецъ стрѣлки въ правой (отъ наблюдателя) сторонѣ поля удаленъ, а въ лѣвой приближенъ къ наблюдателю. Направленіе сѣвернаго полюса при всѣхъ положеніяхъ магнитной стрѣлки будетъ противъ направленія движенія часовой стрѣлки. При пропусканіи тока по обратному направленію мѣняется и направленіе сѣвернаго полюса. Въ этомъ направленіи магнитной стрѣлки, а слѣдовательно и силовыхъ линій поля прямого тока, заключается его отличіе отъ поля вокругъ магнита. Въ полѣ магнита стрѣлка, въ плоскости перпендикулярной его оси, становится къ этой оси перпендикулярно. Черезъ ось магнита и стрѣлку можно провести плоскость, перпендикулярную той, въ которой вращается стрѣлка. Въ полѣ прямого тока стрѣлка также становится подъ прямымъ угломъ къ оси проводника, но не въ одной съ нею плоскости, а въ плоскости параллельной оси.


Рис. 122.

§ 2. Дѣйствіе кругового тока.

§ 2. Дѣйствіе кругового тока. Помѣстивъ небольшую магнитную стрѣлку въ центрѣ круга, по окружности котораго изогнутъ проводникъ (рис. 124), пропускаютъ по проводнику токъ. Стрѣлка при этомъ становится перпендикулярно къ плоскости проводника. При направленіи тока по часовой стрѣлкѣ къ наблюдателю будетъ направленъ южный полюсъ магнитной стрѣлки, при обратномъ—сѣверный.

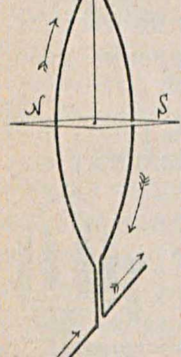


Рис. 124.

И здѣсь можно приложить правило Ампера, если разсматривать небольшой отрѣзокъ кругового проводника, какъ прямой проводникъ. Держа правую руку ладонью къ проводнику и пальцами по направленію движенія тока, замѣтимъ отклоненіе N—полюса въ сторону большого пальца.

§ 3. Дѣйствіе магнитнаго полюса на подвижный круговой токъ. Для наблюденія дѣйствія магнитнаго полюса на проводникъ, могущій измѣнять свое положеніе въ пространствѣ, Амперъ устроилъ особый приборъ, названный его именемъ.

Проводникъ, по которому идетъ токъ *), имѣетъ форму прямоугольника (рис. 125). Для легкости онъ сдѣланъ изъ алюминіевой проволоки и опирается однимъ концомъ въ чашечку Z, а другимъ въ кольцевой желобокъ, окружающій чашечку.

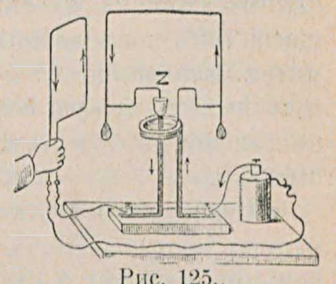


Рис. 125.

Какъ въ чашечку, такъ и въ кольцо, налита ртуть, при помощи которой пропускаютъ въ проводникъ токъ, независимо отъ его положенія въ пространствѣ. Для этого ртуть въ чашечкѣ и окружающемъ ее желобкѣ соединяютъ съ противоположными полюсами источника тока (батареи).

Взявъ въ описанномъ приборѣ вмѣсто прямоугольнаго проводника проводникъ, изогнутый по окружности, вводятъ въ центръ его магнитъ. Проводникъ отклоняется, стремясь стать перпендикулярно къ направленію магнита. Слѣдовательно, дѣйствіе неподвижнаго магнита на подвижный круговой токъ такое же, какъ неподвижнаго кругового тока на подвижный магнитъ. *Сила тока, равная приблизительно 0.1 ампера, протекающая по дугѣ радіуса 1 см., длиною въ 1 см. дѣйствуетъ на магнитный полюсъ, равный единицѣ и находящійся въ центрѣ дуги, съ силою одной дины.*

§ 4. **Дѣйствіе магнитнаго поля земли на подвижный круговой токъ.** Не вводя магнита внутрь кругового подвижнаго проводника, можно замѣтить, что при прохожденіи въ немъ тока онъ (будучи достаточно легкимъ) всегда располагается въ опредѣленной вертикальной плоскости. Разсматривая землю, какъ магнитъ, силовыя линіи котораго направлены отъ полюса къ полюсу, обнаружимъ, что положеніе свободно вращающагося кругового тока будетъ перпендикулярно плоскости магнитнаго меридіана. Такимъ образомъ, подобно магниту свободно вращающійся круговой токъ можетъ служить для показанія странъ свѣта,

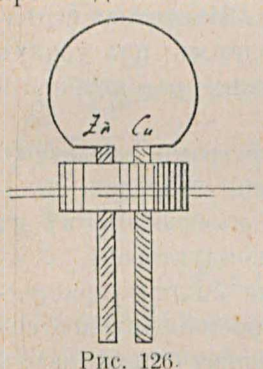


Рис. 126.

Де-ла-Ривъ для этой цѣли пользовался приборомъ, подобнымъ изображенному на рис. 126, который состоитъ изъ пробки, плавающей въ сосудѣ съ слабымъ растворомъ сѣрной кислоты, поддерживающей пропущенныя сквозь нее цинковую и мѣдную пластинки. По проволокѣ, соединяющей пластинки, токъ идетъ отъ мѣдной пластинки къ цинковой.

§ 5. **Соленоидъ.** Проводникъ ab, изогнутый въ видѣ спирали (рис. 127), называется *соленоидомъ*. Дѣйствіе его такое же, какъ ряда круговыхъ проводниковъ, расположенныхъ въ параллельныхъ плоскостяхъ и имѣющихъ центры на одной прямой, перпендикулярной этимъ плоскостямъ.

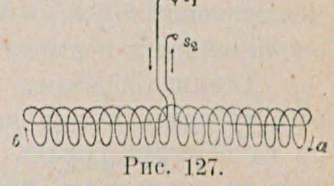


Рис. 127.

Подвижный соленоидъ при прохожденіи тока подобно магниту становится въ направленіи силовыхъ линій магнитнаго поля земли, т. е. указывая

*) Чтобы демонстрировать этотъ опытъ, надо пользоваться токомъ большой силы. Практически удобнѣе осуществлять дѣйствіе магнита на подвижный проводникъ и наблюдать взаимодѣйствіе токовъ на приборѣ *Пелла*. (См. книгу того же автора: „Опыты по электричеству на самод. приборахъ и въ физич. кабинетѣ средн. школы", ч. I-я.)

однимъ концомъ на сѣверъ, а другимъ на югъ. Это вытекаетъ изъ предыдущаго, такъ какъ каждый отдѣльный круговой токъ въ виткахъ спирали стремится расположиться перпендикулярно указанному направленію. Если наблюдатель имѣетъ передъ собою конецъ соленоида, указывающій на сѣверъ, то токъ въ соленоидѣ будетъ имѣть направленіе, противоположное направленію часовой стрѣлки.

Отмѣтивъ этотъ конецъ и перемѣнивъ направленіе тока въ соленоидѣ, замѣтимъ, что соленоидъ повернется на 180° и станетъ указывать отмѣченнымъ концомъ на югъ.

Слѣдовательно, по направленію, занятому соленоидомъ, можно судить о направленіи въ немъ тока и обратно, зная направленіе тока, можно соленоидомъ, какъ магнитомъ, опредѣлять положеніе странъ свѣта. Силовыя линіи соленоида будутъ имѣть направленіе силовыхъ линій магнита.

На этомъ основаніи соленоидъ втягиваетъ внутрь себя подвѣшенный надъ нимъ сердечникъ изъ мягкаго желѣза до тѣхъ поръ, пока центръ его не совпадетъ съ центромъ соленоида.

§ 6. Дѣйствіе соленоидовъ другъ на друга и на магнитъ. Два свободно вращающихся соленоида дѣйствуютъ другъ на друга подобно магнитамъ, т. е. притягиваются концами, въ которыхъ направленіе тока одинаково, т. е. въ обоихъ по часовой стрѣлкѣ или противъ.

Конецъ соленоида, становящійся при свободномъ вращеніи на сѣверъ, отталкиваетъ сѣверный и притягиваетъ южный полюсъ магнита. Магнитная стрѣлка, внесенная въ поле соленоида, направляется къ нему однимъ изъ своихъ полюсовъ совершенно такъ же, какъ къ магниту. И мы должны разсматривать силовое поле соленоида тождественнымъ магнитному полю.

Два кондуктора, заряженныхъ разноименными электричествами, образуютъ въ окружающей ихъ діэлектрической средѣ, какъ показалъ еще Фарадей, силовое поле, тождественное съ магнитнымъ. Если въ приборѣ, изображенномъ на рисункѣ 23 (ч. I, гл. IV, § 1) замѣнить полюсы магнитовъ кондукторами электростатической машины, глицеринъ—керосиномъ, а желѣзныя опилки—кристалликами сѣрнокислаго хинина, то послѣдніе, распредѣляясь по направленію силовыхъ линій поля, представятъ ту же картину, какую желѣзныя опилки даютъ въ двуполюсномъ разноименномъ полѣ.

На томъ же приборѣ можно убѣдиться, что направленіе силовыхъ линій между кондукторами, заряженными одноименно, такое же, какъ между двумя одноименными полюсами магнита.

Такимъ образомъ, уже все сказанное до сихъ поръ даетъ намъ право стереть ту грань между магнитизмомъ и электричествомъ, которая была проведена на первыхъ порахъ знакомства человѣка съ ихъ проявленіями. Не входя пока въ разсмотрѣніе гипотезъ о сущности этихъ явленій, мы можемъ признать общность ихъ причинъ *).

§ 7. Электродинамометръ. Пользуясь тѣмъ, что соленоидъ, а слѣдовательно и обмотка, втягиваютъ внутрь подвѣшенный надъ ними сердечникъ изъ мягкаго желѣза, сравниваютъ силы тока, пропускаемаго въ обмотку, помощью силы тяжести.

*) См. дополненіе въ концѣ книги.

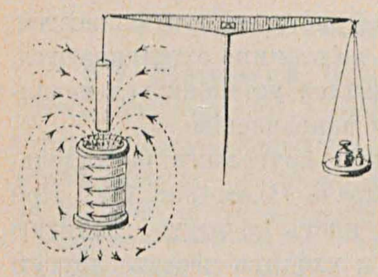


Рис. 128.

Для этого уравновѣшиваютъ на плечахъ коромысла вѣсовъ (рис. 128) желѣзный стержень и чашку съ грузомъ. Помѣщая подъ стержнемъ соленоидъ, пропускаютъ черезъ послѣдній токъ. Чтобы подъ вліяніемъ тока стержень не опускался внутрь катушки, приходится увеличивать нагрузку чашки. Токи равной силы требуютъ одинаковаго возрастанія груза.

§ 8. Пружинный амперметръ и тормазъ. Вмѣсто того, чтобы поддерживать желѣзный стержень въ опредѣленномъ положеніи, можно дать ему опускаться внутрь обмотки. Такъ какъ опусканіе будетъ тѣмъ глубже, чѣмъ токъ, проходящій по обмоткѣ, сильнѣе, то, соединяя плечо рычага съ указателемъ, можно по степени его отклоненія судить о силѣ тока. Пружинный амперметръ, какъ видно изъ рисунка 129, представляетъ желѣзный сердечникъ *E*, соединенный въ *N* съ пружиной, на которой онъ подвѣшенъ надъ катушкой и по обмоткѣ которой идетъ токъ изъ *A* въ *C*. Въ *M* укрѣпленъ колѣнчатый рычагъ, длинное плечо котораго *Z* служитъ указателемъ на шкалѣ. Дѣленія шкалы соотвѣтствуютъ силѣ тока, выраженной въ амперахъ.

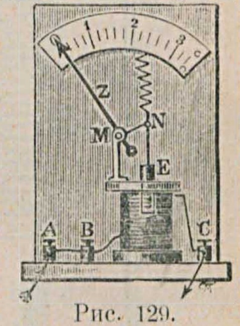


Рис. 129.

Кольраушъ на томъ же принципѣ устроилъ для измѣренія очень слабыхъ токовъ весьма чувствительный *зеркальный гальванометръ* (см. зеркальный электроскопъ, ч. II, гл. I, § 5).

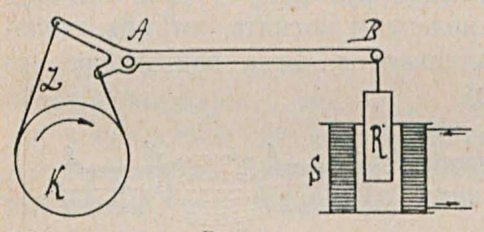


Рис. 130.

Въ техникѣ пользуются втягиваніемъ желѣзнаго стержня внутрь соленоида, по которому идетъ токъ, для устройства регуляторовъ (§ 3, гл. XIV) и трамвайныхъ тормазовъ. Устройство такого тормаза схематически показано на рис. 130. При пропусканіи тока черезъ соленоидъ *S* онъ втягиваетъ стержень *R* и тѣмъ затягиваетъ помощью рычага *AB* ленту *Z*, тормазящую колесо *K*.

§ 9. Взаимодѣйствіе токовъ. Амперъ (1822 г.) изслѣдовалъ помощью своего прибора (рис. 125) дѣйствіе токовъ другъ на друга и результатъ своихъ наблюденій свелъ въ такое правило: *параллельные токи, идущіе по одному направленію, притягиваются, а по противоположнымъ — отталкиваются; круговые токи становятся въ положеніе, параллельное другъ другу, и располагаются по одному направленію* *).

Скрещенные токи притягиваются частями, въ которыхъ токъ направленъ къ мѣсту скрещенія [точкамъ ближайшаго разстоянія проводниковъ, находящихся въ разныхъ плоскостяхъ (рис. 131)] или удаляется отъ него, и отталкиваются частями, въ которыхъ токи на-

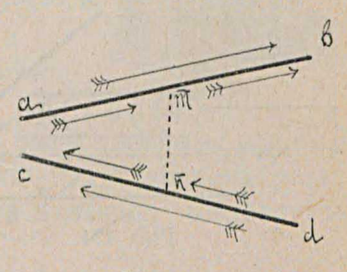
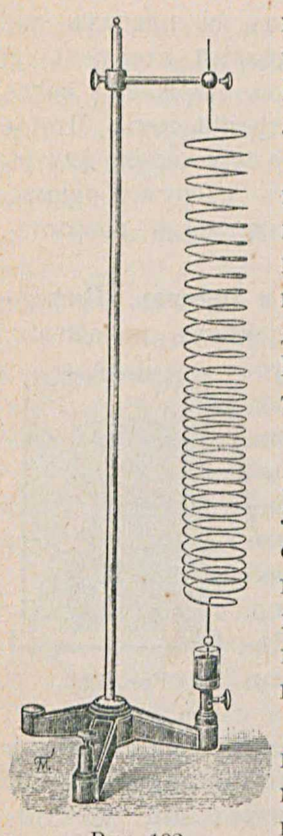


Рис. 131.

*) См. дополненіе въ концѣ книги.


Рис. 132.

правлены различно. Такъ *am* и *nd*, *mb* и *cn* притягиваются; части же *am* и *cn*, а также *mb* и *nd* взаимно отталкиваются. При этомъ скрещенные токи стремятся установиться параллельно между собою и по одному направленію.

Для доказательства притяженія круговыхъ параллельныхъ токовъ можетъ служить спираль *Роже* (рис. 132). При пропусканіи тока въ клемму онъ идетъ во ртуть, налитую въ чашечку, оттуда въ спираль и уходитъ черезъ другую клемму. Отдѣльные витки спирали при этомъ сближаются другъ съ другомъ, спираль сжимается и прерываетъ токъ. Какъ только токъ прервется, спираль вновь удлиняется, а токъ замыкается и т. д.

§ 10. Магнитная гипотеза Ампера. По аналогіи соленоида съ магнитомъ Амперъ предполагалъ, что всякій молекулярный магнитъ представляетъ собою какъ бы соленоидъ съ присущимъ ему токомъ. Каждую молекулу магнитнаго вещества можно мысленно представить охваченною спирально обходящимъ ее токомъ. Намагничиваніе заключается въ приведеніи такихъ молекулярныхъ соленоидовъ въ положеніе, параллельное направляющему току.

Согласно этой гипотезѣ магнитные полюсы притягиваются, когда такъ называемые „амперовы“ токи, т. е. круговые токи, окружающіе молекулы магнита, имѣютъ одинаковое направленіе, и отталкиваются, когда направленіе это противоположно (рис. 133).

Основываясь на этомъ, надо заключить, что явленія магнитнаго притяженія и отталкиванія суть результаты притяженія и отталкиванія такихъ круговыхъ токовъ.

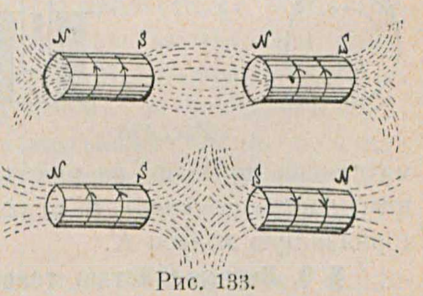


Рис. 133.

§ 11. Земной токъ. Земля представляетъ изъ себя также магнитъ, форма котораго близка къ шаровой. По Амперу она окружена токами, идущими съ запада на востокъ, такъ какъ полюсъ ея на сѣверѣ противоположенъ сѣверному полюсу магнита. (Послѣдній правильнѣе было бы называть южнымъ). Поэтому подвижные токи становятся въ положеніе, параллельное амперовымъ токамъ земли, т. е. перпендикулярно плоскости магнитнаго меридіана, а оси магнитовъ и соленоидовъ перпендикулярно направленію амперовыхъ токовъ, т. е. въ плоскости магнитнаго меридіана.

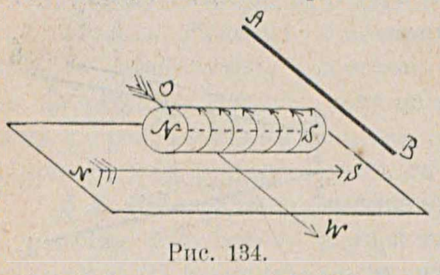


Рис. 134.

На рис. 134 *NS* будетъ указывать направленіе оси соленоидовъ и магнитовъ, а *OW* направленіе тока въ подвижномъ проводникѣ *AB*.

VI. Химическія дѣйствія гальваническаго тока.

§ 1. Обозначенія. Пропуская гальваническій токъ черезъ жидкость, разлагаютъ, по гипотезѣ *Гротгуса* (1805 года), каждую ея молекулу на двѣ части. Однѣ—*аніоны* собираются въ мѣстѣ входа тока,—на *анодѣ*, другія—*катіоны* въ мѣстѣ выхода,—на *катодѣ*. Это химическое дѣйствіе тока впервые открыто было въ 1800 г. *Карлейлемъ*.

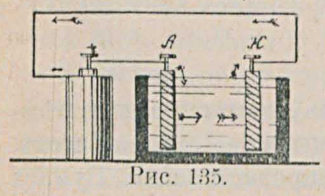


Рис. 135.

Какъ правило, замѣтимъ, что металлы и водородъ, входящіе въ составъ разлагаемой жидкости, собираются на катодѣ, такъ что катіоны какъ бы плывутъ по направленію движенія тока (рис. 135). Жидкость (проводникъ второго класса), разлагаемая токомъ, со времени Фарадея носитъ названіе *электролита*.

Самый же процессъ разложенія называется *электролизомъ*.

§ 2. Разложеніе воды. Химически чистая вода, будучи непроводникомъ тока, не разлагается имъ на составныя части; но если слегка подкислить ее сѣрной кислотой, то на анодѣ выдѣляется кислородъ, а на катодѣ водородъ. Разложеніе происходитъ согласно уравненію:

$$H_2O = H_2 + O,$$

т. е. водорода по объему выдѣляется въ два раза больше, чѣмъ кислорода. (*Риттеръ*, *Карлейль* и *Никольсонъ*, 1800 г.)

Для измѣренія количествъ выдѣляющихся газовъ обыкновенно берутъ такъ называем. *вольтаметръ* *) *Гофмана* (рис. 136).

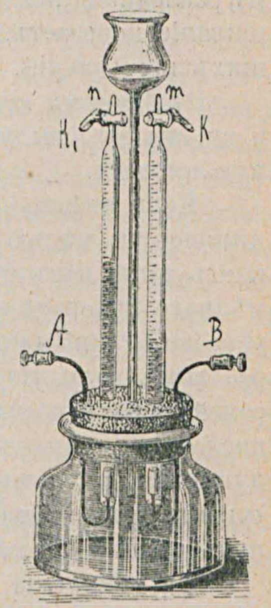


Рис. 136.

Краны K_1K служатъ для выпусканія газовъ. Изъ трубочки *n* выдѣляется кислородъ, изъ *m*—водородъ. Электроды, погружаемые въ подкисленную воду, дѣлаются платиновые. Открывъ краны K_1K, наливаютъ черезъ воронку подкисленную воду такъ, чтобы она брызнула изъ трубочекъ *n* и *m*; закрываютъ краны и пропускаютъ помощью проводовъ, укрѣпленныхъ въ клеммахъ *A* и *B*, токъ отъ двухъ элементовъ Бунзена (см. ниже). Разлагающаяся при пропусканіи тока сѣрная кислота образуетъ катіоны $\overset{+}{H_2}$ и аніоны—$\overset{-}{(SO)_4}$. Послѣдніе разлагаютъ воду, водородъ которой вновь даетъ съ аніономъ сѣрную кислоту, а кислородъ выдѣляется на анодѣ. Такъ какъ въ конечномъ результатѣ количество сѣрной кислоты остается неизмѣннымъ, а вода убываетъ, то процессъ и обозначается, какъ разложеніе воды.

Производя разложеніе такъ, чтобы анодъ и катодъ были прикрыты общимъ сборнымъ сосудомъ, получаютъ *гремучій* газъ. Послѣдній подъ вліяніемъ тепла или пропущенной черезъ него электрической искры со взрывомъ соединяется обратно въ воду:

$$H_2 + O = H_2O \text{ (ч. II, гл. VIII, § 2).}$$

---

*) Вѣрнѣе было бы называть этотъ приборъ, какъ это и дѣлаютъ нѣкоторые авторы, *кулонометромъ*.

§ 3. Электролизъ солей. 1) *Глауберова соль*, сѣрнокислый натрій—Na_2SO_4, въ водномъ растворѣ разлагается на катіоны натрія и аніоны SO_4:

$$Na_2SO_4 = \overset{+}{Na_2} + SO_4.$$

Іоны натрія разлагають воду, образуя ѣдкій натръ и выдѣляя водородъ:

$$Na_2 + 2H_2O = 2NaOH + H_2,$$

аніоны SO_4, по предыдущему, разлагаютъ воду съ образованіемъ сѣрной кислоты и свободнаго кислорода:

$$H_2O + \overline{SO_4} = H_2SO_4 + O.$$

Прибавленный къ электролиту индикаторъ (указатель), а именно краснѣющій въ щелочахъ *фенолфталеинъ*, даетъ розовое окрашиваніе около катода. Этимъ пользуются для опредѣленія направленія тока въ проводникахъ. Бумага *Вильке*, смоченная растворомъ глауберовой соли и фенолфталеина, краснѣетъ, если приложить ее къ проводнику, соединенному съ отрицательнымъ полюсомъ батареи и приблизить къ послѣднему проводникъ, соединенный съ анодомъ.

Ульманъ для опредѣленія направленія тока въ проводникахъ предложилъ пользоваться стеклянной трубкой, содержащей водный растворъ глауберовой соли съ прибавкой фенолфталеина. Трубка съ обоихъ концовъ закрыта металлическими крышечками съ клеммами для включенія проводника. Жидкость у отрицательнаго полюса окрашивается въ розовый цвѣтъ. По выключеніи прибора разложившійся электролитъ вновь соединяется въ нейтральную соль и окрашиваніе исчезаетъ, такъ что приборъ опять становится годнымъ для дальнѣйшихъ примѣненій.

2) *Мѣдный купоросъ* разлагается на катіоны мѣди, не дѣйствующіе на воду, и аніоны SO_4, выдѣляющіе изъ воды на анодѣ кислородъ и образующіе сѣрную кислоту.

Если вмѣсто платиновыхъ электродовъ взять мѣдные, то аніоны SO_4, соединяясь съ мѣдью анода, обратно даютъ мѣдный купоросъ $CuSO_4$. Процессъ идетъ такъ, какъ будто мѣдь съ анода переносится на катодъ; количество же мѣднаго купороса въ растворѣ остается неизмѣннымъ. По типу электролиза глауберовой соли идетъ электролизъ всѣхъ солей, металлъ которыхъ способенъ разлагать воду. По типу электролиза мѣднаго купороса происходитъ разложеніе солей тяжелыхъ металловъ. Онѣ выдѣляютъ на катодѣ металлъ, а на анодѣ кислородъ, если электроды не измѣняются химически въ электролитѣ и его продуктахъ. Если электроды сдѣланы изъ вещества, на которое электролитъ дѣйствуетъ химически, то происходитъ замѣщеніе металла электролита металломъ положительнаго электрода.

§ 4. Гипотеза Клаузіусъ-Ареніуса. Гипотеза Гротгуса не объясняла, какимъ образомъ электролитъ можетъ начать проводить токъ, если молекулы еще не диссоціированы токомъ на іоны.

По современнымъ химическимъ воззрѣніямъ вещество уже при раствореніи диссоціируется частью на іоны, заряженные—одни положительно, другіе—отрицательно. При погруженіи въ растворъ электродовъ іоны, заряженные положительно (катіоны), собираются на катодѣ (противоположныя по знаку электричества притягиваются), а заряженные отрицательно (аніоны) на анодѣ. Удаленіе изъ раствора диссоціированныхъ молекулъ даетъ возможность диссоціаціи

другихъ до тѣхъ поръ, пока идетъ токъ, или пока въ растворѣ остаются неразложившіяся молекулы. Гипотеза эта впервые высказана *Р. Клаузіусомъ* (1857 г.), а развита *С. Аренiусомъ* (1887 г.) *).

§ 5. Зависимость между количествомъ вещества, выдѣленнымъ на катодѣ, и силою тока. Водородъ выдѣляется токомъ не только изъ воды, но и изъ другихъ его соединеній. Независимо отъ состава соединенія, содержащаго водородъ, выдѣляющееся количество послѣдняго будетъ одно и то же, если сила тока остается безъ измѣненія, какое бы вещество ни было взято въ качествѣ электролита. Мѣняя силу тока, можно получать то большее, то меньшее количество водорода въ теченіе одного и того же времени. Фарадей нашелъ, что *количество выдѣляющагося водорода прямо пропорціонально силѣ тока.*

Токъ силою 1 амп. въ минуту выдѣляетъ приблизительно 7 куб. см. водорода (при 0° и 760 мм. давленія) **).

На основаніи этого закона приборъ для разложенія воды можетъ служить измѣрителемъ силы тока.

Первоначально сила тока измѣрялась исключительно этимъ способомъ, а именно по объему образующагося гремучаго газа.

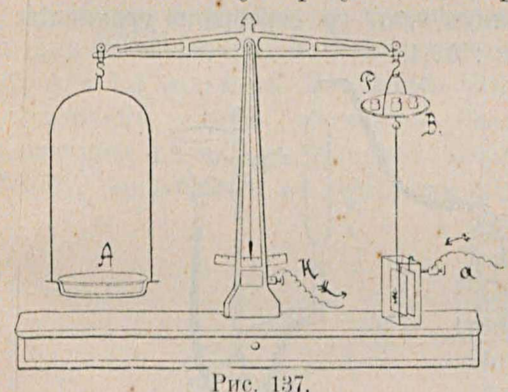


Рис. 137.

Объемъ гремучаго газа, приведенный къ 0° и 760 мм. давленія, выдѣляемый токомъ въ 1 амп. въ 1 минуту, равенъ 10,44 кб. см. (изъ 81 миллиграмма воды). При прохожденіи тока черезъ растворы солей металлъ, входящій въ ихъ составъ, выдѣляется, какъ мы видѣли, на катодѣ. Взявъ анодомъ пластинку изъ того металла, соль котораго служитъ электролитомъ, обнаружимъ по мѣрѣ прохожденія черезъ электролитъ тока убываніе вѣса анода и увеличеніе вѣса катода. Для этого, какъ показано на рис. 137, опущенную въ электролитъ металлическую пластинку *M* подвѣшиваютъ на металлической проволокѣ къ чашкѣ вѣсовъ *B*. На другую чашку ставятъ сосудъ съ водой *A* и помощью гирь *P* уравновѣшиваютъ обѣ чашки. Отмѣтивъ по часамъ время, пускаютъ токъ по направленію отъ *a* къ *K*. По истеченіи опредѣленнаго времени, когда пластинка *M* станетъ тяжеле и чашка вѣсовъ *B* опустится, прерываютъ токъ и приливаютъ на чашку *A* изъ мѣрнаго цилиндра столько воды, чтобы коромысло вѣсовъ пришло въ начальное положеніе. Количество кб. см. прилитой воды соотвѣтствуетъ числу граммовъ увеличенія вѣса пластинки *M*, служившей катодомъ.

Теоретически вѣсъ металла, осадившагося на катодѣ, долженъ равняться убыли въ вѣсѣ анодной пластинки изъ того же металла.

Практически этотъ вѣсъ немного менѣе. Если взять электролитомъ мѣдный купоросъ (или всякую другую растворимую мѣдную окисную соль), то токъ

*) См. дополненіе въ концѣ книги.

**) Современные гальванометры (гл. III, § 5) настолько чувствительны, что обнаруживаютъ токъ, сила котораго столь ничтожна, что для разложенія 1 миллиграмма воды ему понадобилось бы 300,000 лѣтъ.

силою въ 1 амп. выдѣлитъ на катодѣ въ 1 минуту приблизительно 0,02 гр. мѣди. Отсюда, зная вѣсъ мѣди, выдѣлившейся въ опредѣленное время, легко найти силу тока (если она за время процесса оставалась неизмѣнной) по формулѣ:

$$J = \frac{p}{t.\ 0{,}02} \text{ амп.},$$

гдѣ p—вѣсъ выдѣлившейся мѣди, а t—время, выраженное въ минутахъ.

§ 6. Законъ Фарадея. *Количества простыхъ тѣлъ (элементовъ), выдѣляемыя токомъ равной силы, въ равное время, пропорціональны ихъ эквивалентнымъ вѣсамъ* *). Токъ, выдѣляющій въ теченіе опредѣленнаго времени 1 гр. водорода, выдѣлитъ въ то же время 8 гр. кислорода, 108 гр. серебра и т. д.

Зная химическій эквивалентъ какого-нибудь элемента и его вѣсовое количество, выдѣляемое въ единицу времени токомъ силою въ 1 амп., можно опредѣлить, какое вѣсовое количество другого элемента, эквивалентъ котораго тоже извѣстенъ, выдѣлится при тѣхъ же условіяхъ. Мѣдь, напримѣръ, въ мѣдномъ купоросѣ двухатомна (двухзначна), а серебро одноатомно, атомные вѣса: мѣди 63,4, серебра 108. Слѣдовательно, $1 \times 63{,}4$ вѣс. частей мѣди замѣщаютъ 2×108 вѣс. частей серебра. Откуда, зная, что въ минуту токъ силою въ 1 амп. выдѣлитъ 0,02 гр. мѣди, найдемъ, что онъ выдѣлитъ 9,067 гр. серебра по уравненію:

$$X : 0{,}02 = 2 \ .\ 108 : 63{,}4.$$

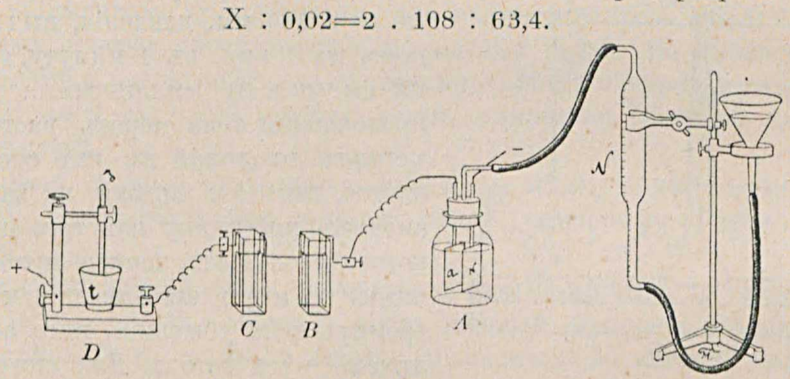


Рис. 138.

Провѣрить законъ Фарадея можно при помощи прибора, изображеннаго на рис. 138. Онъ состоитъ изъ вольтаметра *A*, разлагающаго воду, и приборовъ: *B*—для разложенія мѣднаго купороса, *C*—раствора хлористой мѣди въ растворѣ ціанистаго калія и *D*—азотно-кислаго серебра.

Анодомъ *a* и катодомъ *k* прибора *A* служатъ платиновыя пластинки; въ *B*—мѣдныя; въ *C*—анодъ мѣдный, а катодъ платиновый и въ *D* анодомъ является толстый серебряный стержень, а катодомъ платиновый тигель *t*, въ который налитъ электролитъ.

Гремучій газъ, выдѣляющійся изъ аппарата *A*, измѣряется въ трубкѣ *N*. На каждый 1 гр. водорода, въ немъ содержащійся, выдѣляется на катодѣ прибора *B*—31,7 гр. мѣди, на катодѣ *C*—63,4 гр. мѣди (хлористая мѣдь—$CuCl$ одноатомна) и вѣсъ платиноваго тигля, служащаго катодомъ прибора *D*, увеличится на 108 гр. отъ осадившагося на его стѣнкахъ серебра.

---

*) Напомнимъ, что эквивалентнымъ вѣсомъ будетъ частное отъ дѣленія атомнаго вѣса элемента на его значность (валентность). Это вѣсъ элемента, замѣщающій 1 вѣс. ед. водорода.

Легко понять, что законъ, найденный Фарадеемъ, можетъ служить и для опредѣленія эквивалентныхъ вѣсовъ, когда извѣстны вѣсовыя количества элементовъ, выдѣленныя въ опредѣленное время токомъ измѣренной силы.

§ 7. Поляризованный токъ. Пропуская токъ отъ электрической батареи (рис. 139) черезъ приборъ для разложенія воды и гальванометръ *G* въ направленіи отъ *A* къ *K*, замѣчаютъ, что стрѣлка послѣдняго отклоняется. По истеченіи нѣкотораго времени разобщаютъ батарею *B*, прерывая токъ въ коммутаторѣ, выводять ее изъ цѣпи и замыкаютъ концы проводника. Можно было бы ожидать, что одновременно съ этимъ токъ въ цѣпи прекратится и стрѣлка гальванометра вернется въ нулевое положеніе. Однако опытъ показываетъ, что стрѣлка при этомъ переходитъ нулевое положеніе и отклоняется въ противоположную сторону. Такимъ образомъ приборъ для разложенія воды обращается, какъ это было замѣчено *Готеро* въ 1801 г., въ гальваническій элементъ, дающій токъ, противоположный по направленію току батареи, т. е. идущій отъ *K* къ *A*. Электродвижущая сила этого, такъ называемаго „поляризованнаго" тока въ данномъ случаѣ приблизительно равна 1,5 вольтамъ. Послѣднее объясняетъ, почему для разложенія воды недостаточенъ одинъ элементъ. Разложеніе воды начнется только при силѣ большей 1,5 вольтъ. Причина поляризованнаго тока, уменьшающаго силу прямого, заключается въ томъ, что выдѣлившіеся при разложеніи воды на платиновыхъ электродахъ газы заряжены: водородъ —положительнымъ, а кислородъ—отрицательнымъ электричествомъ. Какъ только внѣшній токъ будетъ прекращенъ, ничто не будетъ препятствовать уравниванію потенціаловъ въ направленіи отъ прежняго катода, ставшаго анодомъ, къ аноду, ставшему катодомъ.

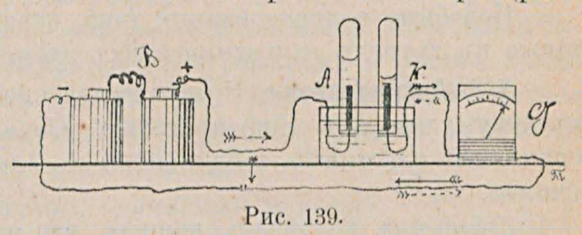


Рис. 139.

Токъ продолжается недолго, пока пузырьки газовъ, покрывавшіе электроды, не соединятся обратно въ воду или, если платиновые электроды выше уровня жидкости, до тѣхъ поръ, пока образующаяся вода не покроетъ ихъ. На этомъ основано устройство *газовыхъ элементовъ Гровс* (1839 г.).

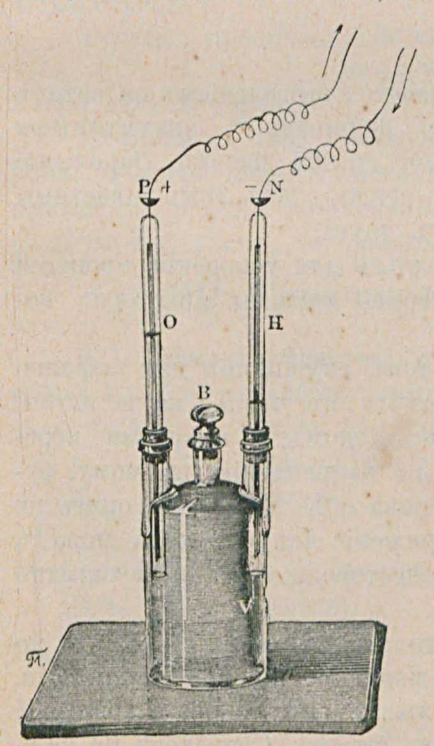


Рис. 140.

Какъ видно изъ рисунка (рис. 140), элементъ состоитъ изъ трехгорлой склянки *V*, среднее горло которой запирается плотно притертой пробкой *B*, а въ два другихъ пропущены длинныя, стеклянныя трубки. Трубки эти сверху запаяны, а снизу открыты; внутри ихъ, почти до верху, проходятъ длинные, платиновые электроды. Послѣдніе соединены съ чашечками *P* и *N*, наполненными ртутью. Опуская въ ртутные кон-

такты *P* и *N* электроды внѣшняго тока, разлагаютъ имъ воду, а затѣмъ, когда въ *O* выдѣлится достаточно кислорода, а въ *H* водорода, разъединяютъ элементы отъ внѣшняго тока, при чемъ въ проводникѣ, размыкающемъ элементъ, развивается поляризованный токъ.

Подобные поляризованные токи, ослабляющіе дѣйствіе прямого, возникаютъ также въ другихъ гальваническихъ элементахъ.

§ 8. Аккумуляторы. Практическое примѣненіе поляризованный токъ нашелъ въ аккумуляторахъ. Еще въ 1826 г. *Нобили* показалъ, что при помощи тока на свинцовой пластинкѣ, соединенной съ анодомъ, можно получить слой перекиси свинца.

Шенбейнъ, въ 1853 г., нашелъ, что подобныя пластинки можно обратно примѣнить для полученія тока.

Пользуясь этими данными, *Планте* въ 1859 г. устроилъ, а *Форъ* въ 1881 г. и *Тюдоръ* въ 1884 г. усовершенствовали приборъ, развивающій поляризованный токъ,—*аккумуляторъ*. Онъ состоитъ изъ двухъ свинцовыхъ рѣшетчатыхъ пластинокъ, углубленія которыхъ набиты окисью свинца. Пластины погружены въ слабый (10%) растворъ кислоты и помощью клеммъ и проводовъ могутъ быть соединены съ источникомъ тока (напр., гальванической батареей). Пропуская черезъ нихъ *прямой—заряжающій* токъ, разлагаютъ, какъ объяснено выше, сѣрную кислоту. Выдѣляющійся при этомъ на пластинкѣ, соединенной съ анодомъ батареи, кислородъ окисляетъ окись свинца въ перекись.

$$PbO+O=PbO_2.$$

Окись же свинца катодной пластинки возстановляется собирающимся на катодѣ водородомъ въ металлическій свинецъ:

$$PbO+H_2=Pb+H_2O.$$

Окончаніе заряженія аккумулятора обнаруживается выдѣленіемъ на катодѣ свободнаго водорода. Предварительное заряженіе, „формованіе“, аккумулятора требуетъ весьма продолжительнаго времени, отъ 200 до 300 часовъ. Заряженіе сильнымъ токомъ, нагрѣвающимъ аккумуляторы, вредно, такъ какъ пластины при этомъ могутъ покоробиться и коснуться другъ друга.

Въ 1911 г. инженеръ *Н. Н. Ламтевъ* предложилъ для ускоренія процесса заряда аккумуляторовъ прибавлять къ раствору сѣрной кислоты нѣкоторое количество сѣрнистой (H_2SO_3).

Выключивъ батарею, или другой источникъ тока, служившій для заряженія аккумулятора, его самого можно теперь включить въ цѣпь, какъ источникъ тока. Свинцовая пластинка въ немъ будетъ анодомъ, а покрытая перекисью свинца катодомъ. Токъ, противоположный по направленію прямому, будетъ развиваться аккумуляторомъ до тѣхъ поръ, пока обѣ пластинки опять не покроются окисью свинца. Такое заряженіе и разряженіе аккумулятора можетъ производиться, съ соблюденіемъ извѣстныхъ предосторожностей, многократно безъ порчи его составныхъ частей.

Разность потенціаловъ только что заряженнаго аккумулятора 2,5—2,2 в., но при разрядѣ она быстро падаетъ до 2-хъ вольтъ, медленно понижаясь до 1,8 в. При достиженіи этого предѣла аккумуляторъ долженъ быть снова заряженъ, такъ какъ отъ 1,8 до 0 вольтъ паденіе идетъ очень быстро. Сила тока на каждый кв. м. поверхности около 1 амп.

Количество электричества, отдаваемаго аккумуляторомъ при разрядѣ, отъ 70 до 90% полученнаго при заряженіи.

Все количество электричества, могущее быть полученнымъ при разрядѣ аккумулятора, называется *полной емкостью разряда*, а выдѣляющееся при паденіи потенціала съ 2,5 до 1,8 вольтъ,—*полезной рабочей емкостью*. Послѣдняя бываетъ больше, если аккумуляторъ разряжается съ перерывами и токомъ малой силы. Отношеніе рабочей емкости къ полной или *количественная отдача* около 90%. Полезная емкость въ аккумуляторахъ разныхъ системъ мѣняется отъ 4 до 12 амперъ-часовъ на 1 килогр. вѣса пластинъ.

Обыкновенно отдѣльные аккумуляторы, состоящіе изъ соединенныхъ нѣсколькихъ паръ пластинъ въ общемъ сосудѣ, соединяются послѣдовательно въ батареи (рис. 141). Аккумуляторныя батареи находятъ примѣненіе, какъ источникъ тока для небольшихъ двигателей, электрическаго освѣщенія и пр. Ихъ удобство состоитъ въ возможности полученія тока въ любой моментъ; недостатки же: высокая стоимость развиваемаго ими тока и значительный вѣсъ самихъ аккумуляторовъ.

Рис. 141.

Въ 1901 году *Эдисонъ* и независимо отъ него *Э. Юнгнеръ* сконструировали болѣе легкіе аккумуляторы. Активной массой у Эдисона служитъ окись желѣза на катодной и окись никкеля на анодной пластинкѣ, а у Юнгнера при такомъ же анодѣ катодъ состоитъ изъ смѣси окиси желѣза и окиси кадмія. Электролитомъ оба изобрѣтателя взяли 20% растворъ ѣдкаго кали.

Реакція, происходящая въ аккумуляторѣ при разрядѣ, вѣроятно, такова:

$$Fe + 2Ni(OH)_3 = Fe(OH)_2 + 2Ni(OH)_2,$$

а при зарядѣ обратная.

Начиная съ 1907 г. аккумуляторы Эдисона стали входить въ практику, но пока за исключеніемъ нѣсколько меньшаго вѣса они не имѣютъ особыхъ преимуществъ передъ свинцовыми, обладая крупными недостатками: малымъ коэффиціентомъ отдачи, не превышающей 45%, и не экономичностью.

VII. Типичные гальваническіе элементы *).

§ 1. Элементъ Вольты. *Гальваническая пара* этого элемента состоитъ изъ цинка и мѣди въ слабомъ растворѣ сѣрной кислоты (рис. 142). Цинкъ, растворяясь въ сѣрной кислотѣ, образуетъ цинковый купоросъ, осаждающійся въ видѣ бѣлаго кристаллическаго осадка на днѣ сосуда:

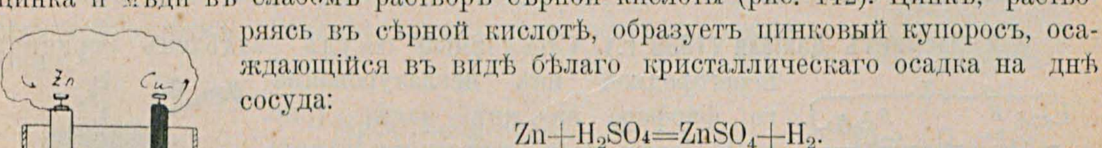


Рис. 142.

$$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2.$$

Такимъ образомъ цинкъ все время расходуется (разъѣдается).

Свободный водородъ, выдѣляясь на мѣдной пластинкѣ, развиваетъ поляризованный токъ.

*) Описаніе гальваническихъ элементовъ, представляющихъ варіаціи главныхъ типовъ, а равно и практическія указанія по устройству и примѣненію ихъ читатель найдетъ въ книжкѣ *Н. Н. Лаптева*: „Гальваническіе элементы и аккумуляторы“.

Одной минуты дѣйствія элемента достаточно, чтобы поляризованный токъ сравнялся силою съ прямымъ и тѣмъ уничтожилъ полезное дѣйствіе элемента. Показать это можно на приборѣ, изображенномъ на рис. 143. Онъ состоитъ изъ двухъ стеклянныхъ воронокъ, соединенныхъ резиновой трубкой. На внутренней поверхности одной изъ воронокъ укрѣплены цинковое—*Zn* и мѣдное—*Cu* кольца, къ которымъ припаяны концы проводниковъ *a* и *k*, соединенные съ амперметромъ *g*. Другая воронка *C* служитъ для наполненія воронки *B* слабымъ растворомъ сѣрной кислоты и для быстраго удаленія этого раствора. Поднявъ воронку *C* вверхъ, вводятъ кислоту въ воронку *B*. Между цинкомъ и кислотой возникаетъ гальваническій токъ, идущій по проводу *ak* въ амперметръ. Послѣдній при этомъ отмѣчаетъ силу тока въ *n* амперъ; но уже менѣе чѣмъ черезъ минуту показаніе уменьшается до 1/5 начальнаго. Мѣдное кольцо воронки при этомъ, какъ можно замѣтить, покрывается пузырьками газа. Если опустить воронку *C* и тѣмъ удалить жидкость изъ *B*, то поверхность анода освобождается отъ пузырьковъ газа и при новомъ наполненіи воронки *B* кислотой амперметръ опять возвращается къ начальному показанію.

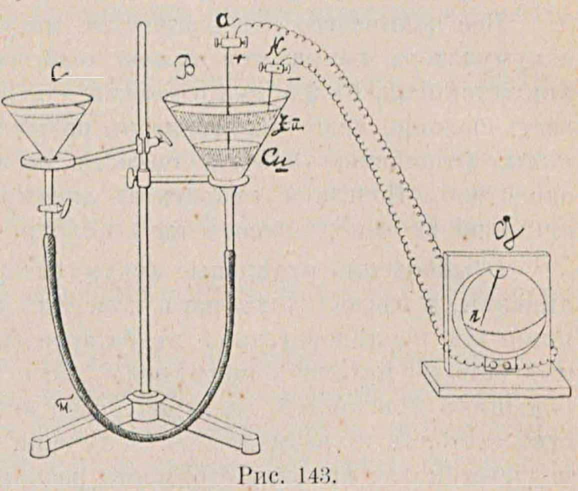


Рис. 143.

Слѣдовательно, для практическаго примѣненія элемента Вольты необходимо: 1) предохранить цинкъ отъ разъѣданія во время бездѣйствія элемента, 2) удалить выдѣляющійся во время дѣйствія элемента водородъ.

Первое по предложенію Стюржента, сдѣланному въ 1826 г., достигается амальгамаціей цинка, второе прежде производилось механически постояннымъ встряхиваніемъ элемента. Того же можно достичь, связывая химически выдѣляющійся водородъ.

Въ указанномъ, первоначальномъ видѣ элементъ Вольты не примѣняется въ практикѣ, но онъ послужилъ прототипомъ для нѣкоторыхъ практически примѣнимыхъ элементовъ.

§ 2. Элементъ Даніэля (1838 г.). Стеклянный сосудъ раздѣленъ пористой перегородкой изъ неглазурованнаго фарфора на двѣ части (рис. 144). Черезъ такую пластинку можетъ происходить диффузія жидкости. Въ одной части сосуда налитъ растворъ сѣрной кислоты и въ него опущена цинковая пластинка. Въ другую часть наливаютъ растворъ мѣднаго купороса и погружаютъ мѣдный листъ. Выдѣляющійся дѣйствіемъ цинка изъ сѣрной кислоты водородъ диффундируетъ черезъ фарфоровую пере-

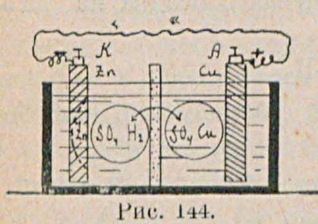


Рис. 144.

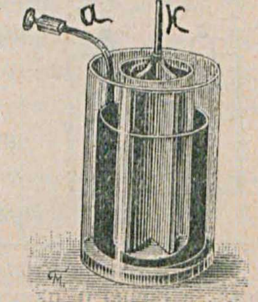


Рис. 145.

городку и, in statu nascendi, разлагаетъ мѣдный купоросъ, при чемъ мѣдь выдѣляется на анодѣ:

$$CuSO_4+H_2=H_2SO_4+Cu.$$

Такимъ образомъ поляризованный токъ въ элементѣ не развивается. Слѣдовательно, элементъ принадлежитъ къ числу постоянныхъ и даже можетъ служить для сравненія съ нимъ электродвижущей силы другихъ элементовъ, тѣмъ болѣе, что разность потенціаловъ его равна почти 1 вольту (1,08 в.).

Практическая форма элемента Даніэля указана на рисункѣ 145.

Цинковая пластинка, имѣющая въ сѣченіи крестообразную форму, опущена внутрь пористаго сосуда съ слабой сѣрной кислотой. Во внѣшній стеклянный сосудъ помѣщенъ цилиндрически согнутый мѣдный листъ и налитъ растворъ мѣднаго купороса. Достоинство элемента—отсутствіе вредныхъ для здоровья выдѣленій.

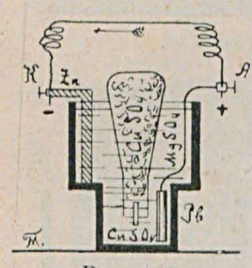


Рис. 146.

§ 3. Элементъ Мейдингера (1858 г.) Этотъ элементъ представляетъ видоизмѣненіе предыдущаго. Схема его устройства показана на рис. 146, а внѣшній видъ на рис. 147.

Въ сосудъ, широкій сверху и узкій снизу, наливаютъ сначала крѣпкій растворъ мѣднаго купороса, а сверхъ него растворъ сѣрнокислаго магнія (горькой соли). Въ этотъ послѣдній растворъ погружено цинковое кольцо (точнѣе, какъ и въ предыдущемъ элементѣ, отрѣзокъ, цилиндрически согнутый), опирающееся на выступъ сосуда. На дно узкой нижней части сосуда опущено мѣдное или свинцовое кольцо. Послѣднее вскорѣ послѣ начала дѣйствія элемента покрывается осадкомъ мѣди. Проводникъ, соединенный съ нижней анодной пластинкой (кольцомъ), во избѣжаніе разъѣданія хорошо изолированъ помощью гуттаперчевой трубки. Для пополненія мѣднаго купороса, убывающаго при дѣйствіи элемента, въ сосудъ опущенъ открытый снизу баллонъ, наполненный кристаллами купороса. Отверстіе баллона погружено ниже уровня раствора купороса въ сосудѣ. Благодаря разности удѣльныхъ вѣсовъ растворовъ горькой соли и купороса, жидкости между собою не смѣшиваются.

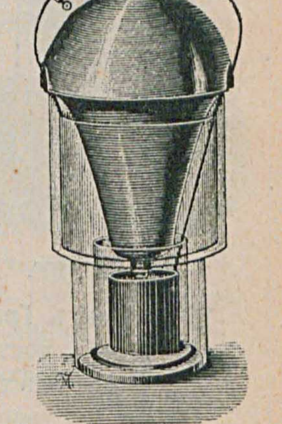


Рис. 147.

Какъ въ элементѣ Даніэля, мѣдный купоросъ служитъ деполяризаторомъ. Реакціи происходятъ согласно уравненіямъ:

$$MgSO_4=\overset{+}{Mg}+\overset{-}{SO_4};$$
$$Zn+SO_4=ZnSO_4;$$
$$CuSO_4+Mg=MgSO_4+Cu.$$

Электровозбудительная сила равна 1,6 вольта. Благодаря постоянству дѣйствія и несложности ухода элементъ нашелъ примѣненіе въ телеграфномъ дѣлѣ.

§ 4. Элементъ Калло (1861 г.). Для примѣненія на телеграфѣ предыдущему элементу *Калло* придалъ видъ, указанный на рис. 148.

Къ верхнему краю стекляннаго цилиндрическаго сосуда на трехъ выступахъ подвѣшивается цинковый катодъ. Свинцовый анодъ съ свинцовымъ же стержнемъ лежитъ прямо на днѣ сосуда. Купоросъ въ кристаллахъ насыпается слоемъ прямо на дно, а сверхъ него наливаютъ растворъ цинковаго купороса. Реакціи:

$$ZnSO_4 = Zn + SO_4;$$
$$CuSO_4 + Zn = ZnSO_4 + Cu.$$

Выдѣляющаяся мѣдь осаждается на анодѣ. Электровозбудительная сила та же, какъ и въ элементѣ Мейдингера.

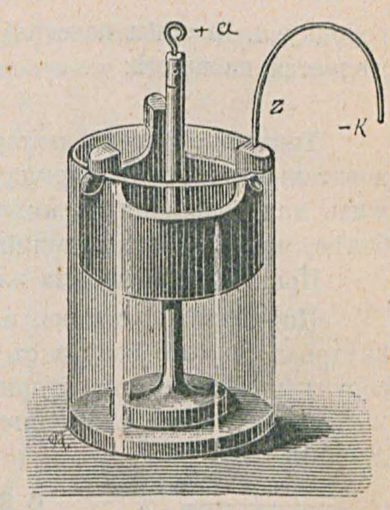
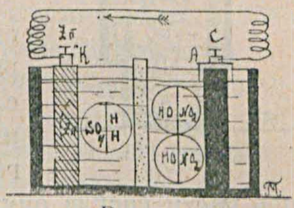


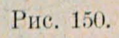
Рис. 148.

§ 5. Элементъ Бунзена (1842 г.). Этотъ элементъ, изображенный схематически на рис. 149, устроенъ, какъ элементъ Даніэля, но съ замѣной раствора мѣднаго купороса азотной кислотой, а мѣднаго анода угольнымъ. Водородъ, выдѣляющійся изъ сѣрной кислоты, возстановляетъ азотную кислоту въ окись азота NO_2:

$$H_2 + 2HNO_3 = 2H_2O + 2NO_2.$$


Рис. 149.

Газообразная окись азота частью растворяется въ жидкости элемента, частью выдѣляется въ воздухъ, что дѣлаетъ примѣненіе элементовъ Бунзена въ закрытыхъ помѣщеніяхъ вреднымъ для здоровья. Элементъ этотъ принадлежитъ къ числу постоянныхъ; его электровозбудительная сила около 1,9 в. Рис. 150—внѣшній видъ эл-та: *А*—цинкъ, *Б*—пористый сосудъ, *В*—уголь, *V*—стекл. сосудъ.


Рис. 150.

Гровэ нѣсколько ранѣе Бунзена (1838 г.) предложилъ ту же конструкцію, но вмѣсто угольнаго анода онъ бралъ платиновый.

§ Элементъ Грено (1856 г.), или такъ назыв. элементъ съ хромовой жидкостью, устроенный по мысли *Поггендорфа* (1842 г.), состоитъ изъ цинка и угля, опущенныхъ въ растворъ двухромовокислаго калія $K_2\ Cr_2\ O_7$ и сѣрной кислоты (на 100 ч. воды 12 в. ч. двухромокаліевой соли и 25 сѣрной кислоты). Весьма сильный элементъ, пригодный для кратковременнаго дѣйствія. Такъ какъ цинкъ сильно разъѣдается въ кислой жидкости, то при бездѣйствіи элемента его выводятъ изъ жидкости. Для этого въ крышкѣ, закрывающей сосудъ съ хромовой жидкостью (рис. 151—схема, рис. 152—внѣшній видъ), продѣлано отверстіе, въ которомъ укрѣплено мѣдное кольцо, соединенное съ отрицательнымъ проводникомъ.

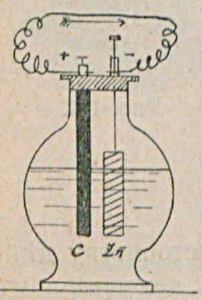

Рис. 151.


Рис. 152.

Металлическій стержень, на концѣ котораго укрѣплена цинковая пластинка, ходитъ въ отверстіи кольца. Стержень, а слѣдовательно и цинкъ, можетъ быть опущенъ и поднятъ, смотря по надобности. Этотъ элементъ находитъ широкое примѣненіе въ физическихъ кабинетахъ и во всѣхъ случаяхъ, когда нужно имѣть сильный токъ на непродолжительное время. Ему придаютъ различныя формы. Батарея изъ такихъ элементовъ обыкновенно дѣлается съ общей подъемной крышкой, на которой укрѣплены попарно угольныя и цинковыя пластинки (рис. 153). Отдѣльныя пары могутъ быть соединены послѣдовательно, параллельно и смѣшанно. Вынимающіеся изъ общей станины стеклянные плоскіе сосуды для хромовой жидкости могутъ быть удалены, если нужно получить токъ отъ меньшаго числа элементовъ, чѣмъ то, изъ котораго составлена батарея. На рис. 154 указана новѣйшая конструкція опускной батареи, дающая возможность поднять всѣ электроды сразу, или часть ихъ отдѣльно. Химическій процессъ, происходящій въ элементѣ Гренэ, довольно сложенъ. При разложеніи H_2SO_4 аніонъ ея реагируетъ съ цинкомъ:

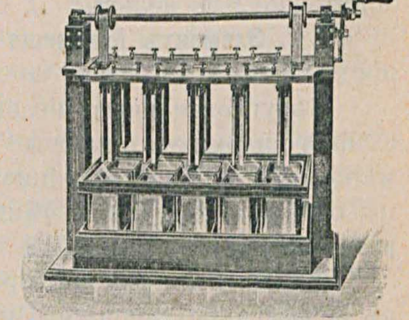


Рис. 153.

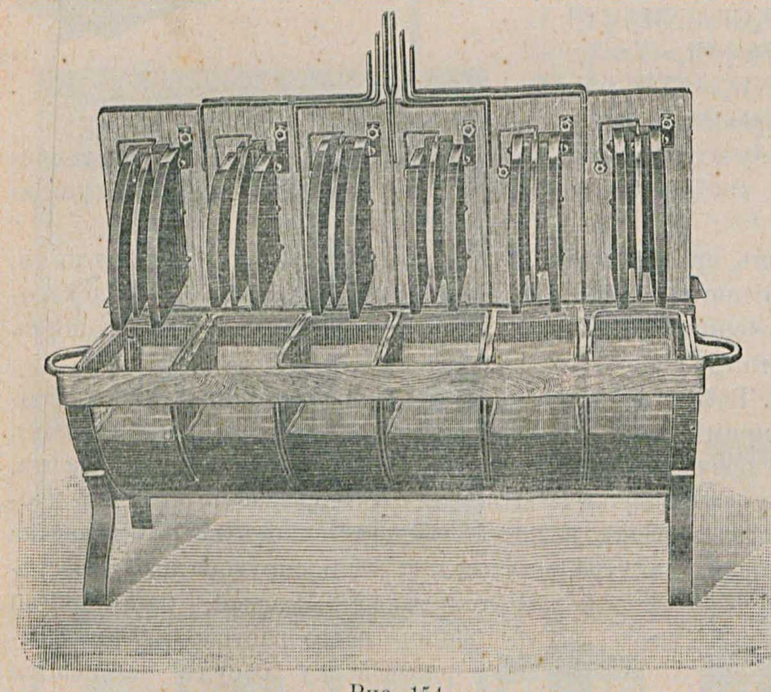


Рис. 154.

$$Zn+SO_4=ZnSO_4;$$

катіонъ же окисляется деполяризаторомъ въ воду. Двухромовокаліевая соль съ сѣрной кислотой даетъ полихромовую кислоту:

$$K_2Cr_2O_7+H_2SO_4=H_2Cr_2O_7+K_2SO_4,$$

разлагающуюся на ангидридъ и воду:

$$H_2Cr_2O_7=H_2O+2CrO_3;$$

этотъ то ангидридъ и окисляетъ водородъ, переходя въ окись:

$$2CrO_3+3H_2=3H_2O+Cr_2O_3,$$

окрашивающую жидкость въ зеленый цвѣтъ и дающую въ результатѣ процесса хромовые квасцы:

$$Cr_2O_3+K_2SO_4+3H_2SO_4=Cr_2(SO_4)_3K_2SO_4+3H_2O.$$

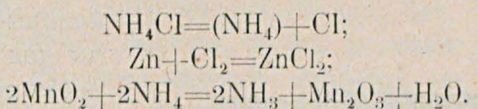
Въ виду слабой растворимости хромовыхъ каліевыхъ квасцовъ лучше составлять жидкость по такому рецепту: воды 800 кб. см., двухромокислаго натра 100 гр., сѣрной кислоты 200 кб. см.

Электровозбудительная сила элемента съ хромовой жидкостью можетъ доходить до 2-хъ вольтъ.

§ 7. Элементъ Лекланше (1868 г.). Этотъ элементъ подобно предыдущему принадлежитъ къ числу элементовъ съ одной жидкостью.

Въ угловое уширеніе стекляннаго сосуда (рис. 155) опускается сплошной цинковый цилиндръ. Пористый сосудъ, помѣщенный внутри стекляннаго, наполненъ перекисью марганца, окружающей уголь. Жидкость въ элементѣ Лекланше—растворъ нашатыря—HN₄Cl.

Химическія реакціи, происходящія въ элементѣ, сводятся къ образованію хлористаго цинка и выдѣленію аммонія, разлагающаго перекись марганца съ образованіемъ амміака и воды.



$$NH_4Cl=(NH_4)+Cl;$$
$$Zn+Cl_2=ZnCl_2;$$
$$2MnO_2+2NH_4=2NH_3+Mn_2O_3+H_2O.$$

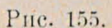


Рис. 155.

Такимъ образомъ перекись марганца служитъ деполяризаторомъ.

Когда цѣпь не замкнута, цинкъ не подвергается разъѣданію, поэтому элементъ долго сохраняется, требуя лишь изрѣдка растворенія NH_4Cl и подливанія испарившейся воды.

Дѣйствуетъ онъ лишь при рѣдкихъ и непродолжительныхъ замыканіяхъ, почему преимущественно примѣняется для элекрическихъ звонковъ. Электровозбудительная сила свѣжеприготовленнаго элемента Лекланше 1,45 в., но съ теченіемъ времени она быстро падаетъ.

§ 8. Сухой элементъ. Всѣ описанные элементы имѣютъ одинъ существенный недостатокъ: они непримѣнимы для переносныхъ приборовъ, приводимыхъ въ дѣйствіе токомъ. Для послѣдней цѣли съ 1884 г. устраиваютъ такъ назыв. *сухіе элементы*, которые можно опрокидывать и встряхивать безъ опасенія пролить жидкость. Въ этихъ элементахъ внѣшняя оболочка чаще всего дѣлается изъ папье-маше, а помѣщенные внутри ея цинкъ и уголь окружаются гигроскопической массой, насыщенной чаще всего растворомъ нашатыря. Сверху сосудъ заливается смолой, препятствующей высыханію гигроскопической массы. Существуетъ нѣсколько измѣненій такихъ элементовъ: *Гаснера, Симона, Сущинскаго* и друг. Рис. 156 изображаетъ разрѣзъ элемента Гаснера: *А*—уголь, *К*—цинкъ, *m*—смола, *e*--каналъ, сообщающій положительный электродъ съ окружающей его активной массой, состоящей изъ смѣси окиси цинка, хлористаго цинка, гипса и воды, *c*—стеклянный изолирующій уголь отъ цинка кружокъ.

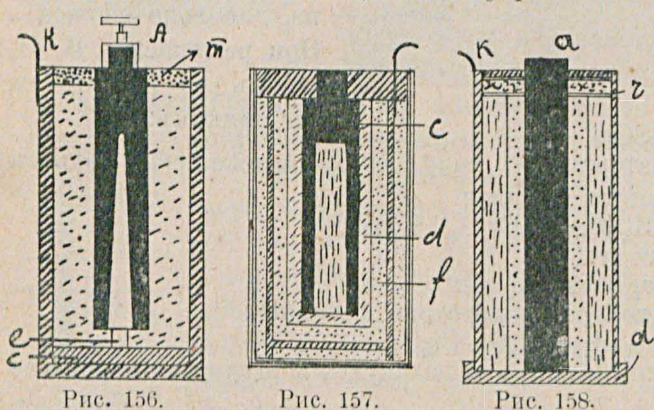
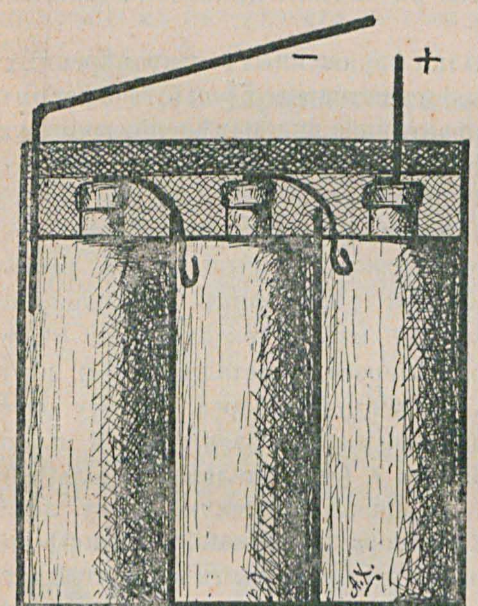


Рис. 156. Рис. 157. Рис. 158.

Рис. 157 изображаетъ элементъ *Хеллезена*. *С*—полый внутри уголь, набитый фильтровальной бумагой, которая смочена жидкимъ стекломъ (кремнекис-

лымъ натріемъ—Na_2SiO_3), *d* деполяризаціонная масса, спрессованная изъ смѣси магнезіи, кремнезема, извести и окиси желѣза, *f*—электролитъ, состоящій изъ аммiачной соли хлорноватистой кислоты и окиси цинка съ гипсомъ. Цинковый цилиндрикъ, служащій катодомъ, окруженъ опилками и помѣщенъ въ футляръ.

Рис. 158 представляетъ разрѣзъ сухого элемента *Сименса*, который состоитъ изъ цинковаго сосудика *K* съ деревяннымъ дномъ *d*. Уголь *a* окруженъ деполяризаторомъ изъ равныхъ количествъ перекиси марганца и графита; электролитомъ служитъ растворъ нашатыря въ смѣси съ гипсомъ. Сверху масса прикрыта изолирующимъ кружкомъ *r*. Электровозбудительная сила сухихъ элементовъ около 1,3 вольта и падаетъ такъ же быстро, какъ въ элементѣ Лекланше.



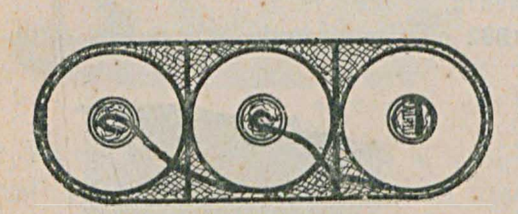


Рис. 159.

Для практическихъ цѣлей сухіе элементы соединяютъ, какъ указано на рис. 159, въ батареи. Они такъ дешевы, что по истощеніи не перезаряжаются, а прямо замѣняются новыми.

§ 9. Нормальные элементы. Для сравниванія электродвижущей силы различныхъ элементовъ эталономъ можетъ служить любой элементъ, электродвижущая сила котораго постоянна *). Изъ числа такихъ *нормальныхъ* элементовъ укажемъ на элементы *Латимеръ - Кларка* (1874 г.) и *Вестона* (1892 г.). Сосуды ихъ (рис. 160) состоятъ изъ двухъ цилиндрическихъ трубокъ, соединенныхъ посрединѣ горизонтальной трубкой. Въ дно вертикальныхъ трубокъ впаяны платиновыя проволоки, служащія для введенія элементовъ въ цѣпь. Въ элементѣ Латимеръ-Кларка на дно трубки *A* (катодъ) положена цинковая амальгама, а въ *P* (анодъ) налита ртуть, сверхъ которой находится слой концентрированнаго раствора сѣрнокислой ртути (закисной — Hg_2SO_4). Оба вертикальныхъ колѣна и соединительная горизонтальная трубка наполнены затѣмъ насыщеннымъ растворомъ цинковаго купороса. Сверху трубки закрыты пробками и залиты параффиномъ. Во время

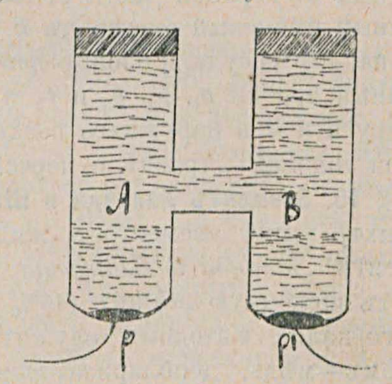


Рис. 160.

*) О томъ, какъ производится это сравненіе, будетъ сказано въ § 8, гл. XI.

дѣйствія элемента аніонъ цинковаго купороса реагируетъ на цинкъ амальгамы и вновь образуетъ цинковый купоросъ, катіонъ же разлагаетъ сѣрнокислую ртуть:

$$Zn+Hg_2SO_4=ZnSO_4+Hg_2.$$

Элементъ этотъ, имѣющій электродвижущую силу 1,438 вольтъ, при $t=15^\circ$ мѣняетъ ее съ измѣненіемъ послѣдней по формулѣ:

$$Et=1,438 \text{ в.} - 0,00115\,(t^\circ-15^\circ) \text{ в.}$$

Для сохраненія постоянства электродвижущей силы его надо замыкать только на очень непродолжительное время и вводя большое сопротивленіе (гл. IX, § 1).

Болѣе постояннымъ при перемѣнѣ температуры оказывается элементъ Вестона. Отличіе его отъ описаннаго заключается въ замѣнѣ цинковой амальгамы и купороса кадміевыми.

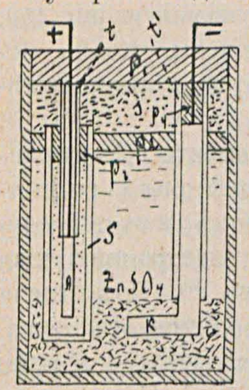


Рис. 161.

Возможность пересылки заряженныхъ и провѣренныхъ нормальныхъ элементовъ осуществлена д-ромъ Feusner'омъ, предложившимъ весьма практичное видоизмѣненіе конструкціи элемента Латимеръ-Кларка. Его элементъ (рис. 161) состоитъ изъ сосуда цилиндрической формы, на дно котораго насыпанъ слой мелко-кристаллическаго цинковаго купороса, залитый на $^2/_3$ высоты сосуда насыщеннымъ растворомъ той же соли. Небольшой цилиндрикъ изъ пористаго фарфора *S* наполненъ массой изъ смѣси закисной сѣрнокислой ртути, цинковаго купороса и металлической ртути такого же состава, какъ у Латимеръ-Кларка. Въ эту массу опущенъ положительный платиновый электродъ *A*, изолированный въ верхней части стеклянной трубочкой *t*. Отрицательный амальгамированный цинковый электродъ *k* погруженъ въ кристаллическую массу, лежащую на днѣ сосуда, и изолированъ отъ слоя раствора трубочкой *t'*. Парафинированныя пробки p_1, p_2, p_3 и p_4 и слой смолы *s* отдѣляютъ части элемента другъ отъ друга и отъ наружнаго воздуха, не давая имъ перемѣщаться и смѣшиваться при толчкахъ, тряскѣ и пересылкѣ элемента.

§ **10. Элементъ Лаланда и Шаперона (1882 г.).** Въ отличіе отъ всѣхъ описанныхъ выше элементовъ жидкость въ элементѣ *Лаланда и Шаперона* (рис. 162) имѣетъ щелочную реакцію (40% растворъ ѣдкаго кали). Катодомъ служитъ цинкъ, анодомъ—мѣдь, деполяризаторомъ зерненая окись мѣди, насыпаемая на дно сосуда до соприкосновенія съ анодомъ. Электролизирующійся при замыканіи тока ѣдкій кали распадается на калій и гидроксилъ: $KOH=K+(OH)$.

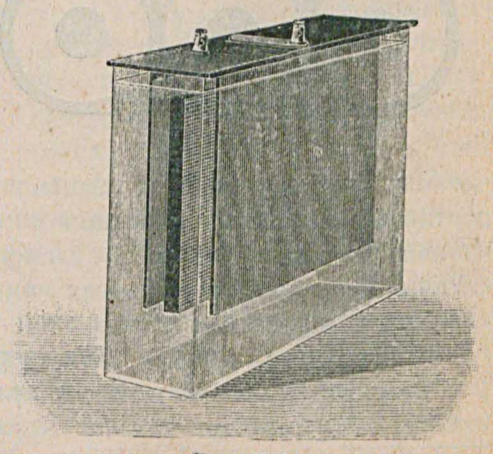


Рис. 162.

Калій, разлагая воду, даетъ вновь ѣдкій кали и водородъ, деполяризующійся окисью мѣди: $H_2+CuO=H_2O+Cu$, а гидроксилъ окисляетъ цинкъ въ окись цинка: $Zn+2(OH)=H_2O+ZnO$. Послѣдняя съ ѣд-

кимъ кали даетъ цинкатъ калія: $ZnO + 2KOH = Zn(OK)_2 + H_2O$. Электровозбудительная сила равна 0,9 вольта.

§ 11. **Мѣстные токи.** Химически чистый цинкъ нерастворимъ въ сѣрной кислотѣ. Продажный цинкъ растворяется потому, что онъ содержитъ въ себѣ посторонніе примѣси, съ которыми онъ образуетъ коротко замкнутыя цѣпи, дающія мѣстные токи и въ то время, когда элементъ не замкнутъ. Амальгама способствуетъ уничтоженію возможности образованія мѣстныхъ токовъ, покрывая собою частички инородныхъ примѣсей къ цинку. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ образованіе мѣстныхъ токовъ, наоборотъ, желательно. Напримѣръ, въ оцинкованной желѣзной проволокѣ влага, проникая въ мельчайшія скважины цинковаго слоя, не вызываетъ ржавленія желѣза. Она способствуетъ окисленію цинка и выдѣленію на поверхности желѣза водорода, который возстановляетъ окись желѣза.

VIII. Практическія примѣненія электролиза.

§ 1. **Гальваностегія.** Осажденіе металла на катодѣ при электролизѣ солей служитъ въ техникѣ для покрытія одного металла другимъ *(гальваностегія)* и для полученія металлическихъ копій съ пластическихъ изображеній *(гальванопластика).*

Открытіе и разработка этихъ способовъ принадлежитъ петербургскому академику *Морицу Якоби* (1836 г.) Почти одновременно то же открытіе было сдѣлано въ Англіи *Спенсеромъ*. Однако еще раньше ихъ *Волластонъ* (1801 г.) и *Де-ля-Ривъ* (1832 г.) замѣтили, что на мѣдномъ катодѣ осаждается металлъ. Но кромѣ того есть указанія, что гальваностегія была извѣстна египетскимъ жрецамъ, покрывавшимъ предметы необычайно тонкимъ слоемъ мѣди, не носящимъ слѣдовъ штамповъ или чеканки.

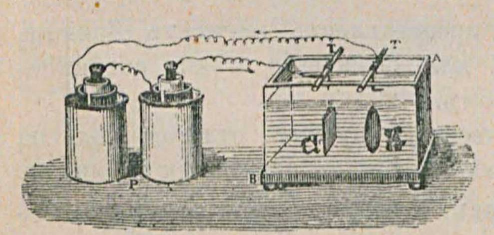


Рис. 163.

Электролитъ наливаютъ въ такъ наз. „ванну“ *AB* (рис. 163), представляющую стеклянный сосудъ или деревянный, осмоленный внутри ящикъ. Токъ отъ батареи послѣдовательно соединенныхъ элементовъ *P* входитъ въ анодъ *a* и выходитъ черезъ катодъ *k*, подвѣшенные въ жидкости на брускахъ *T, T*. Для покрытія мѣдью электролитомъ берутъ смѣсь 100 в. ч. воды, 40 мѣднаго купороса и 5 сѣрной кислоты. Анодомъ служитъ мѣдная пластинка, а катодомъ металлическій или натертый графитомъ предметъ, покрываемый мѣдью.

Золоченіе открыто *Де-ля-Ривомъ* (1840 г.) и производится, по предложенію *Элькингтона*, электролизомъ двойной ціанистой соли золота и калія, обыкновенно въ тепломъ растворѣ. Для достиженія послѣдняго условія во время осажденія золота ванну подогрѣваютъ (рис. 164).

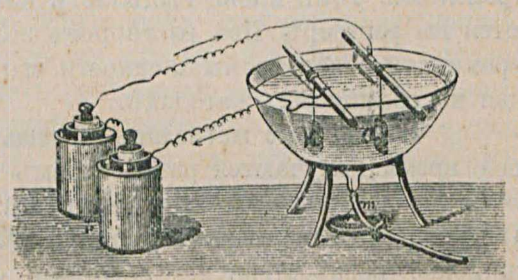


Рис. 164.

Анодомъ при золоченіи берутъ платиновую проволоку или угольный стер-

женъ, такъ что жидкость постепенно „истощается“, не пополняясь раствореніемъ анода. Серебреніе ведутъ также разложеніемъ ціанистаго серебра, но анодъ дѣлаютъ изъ серебряной пластинки, раствореніе которой пополняетъ убыль серебра въ растворѣ. Подобнымъ же путемъ производятъ никкелированіе, цинкованіе и пр.

Съ 1911 г. въ практику вошелъ способъ *М. А. Розенберга*, такъ назыв. „сухой гальваностегіи“ порошкомъ *гальванита*, состоящимъ изъ смѣси порошка осаждаемаго металла съ магніемъ и солями ванны. Покрываемая поверхность покрывается порошкомъ и протирается влажной тряпкой. Впрочемъ, покрытіе по этому способу не отличается прочностью.

§ 2. **Гальванопластика.** Для изготовленія гальванопластическихъ копій слой металла, осаждаемаго на предметѣ, соединенномъ съ катодомъ, дѣлается болѣе толстымъ. Форма отливается изъ гипса, сѣры или гуттаперчи и покрывается графитомъ. Такимъ путемъ въ настоящее время готовятъ даже крупныя художественныя издѣлія, а также копіи съ полученныхъ фотографическимъ путемъ рельефныхъ клише для печати.

Особый видъ гальванопластики составляетъ *металлизація*—покрытіе тонкимъ слоемъ металла цвѣтовъ, насѣкомыхъ, кружевъ и пр. Предметъ, покрытый слоемъ металла, удаляется прокаливаніемъ.

Источникомъ тока въ гальванопластическихъ работахъ, ведущихся заводскимъ путемъ, служитъ обыкновенно динамомашина (ч. IV, гл. VI, § 2).

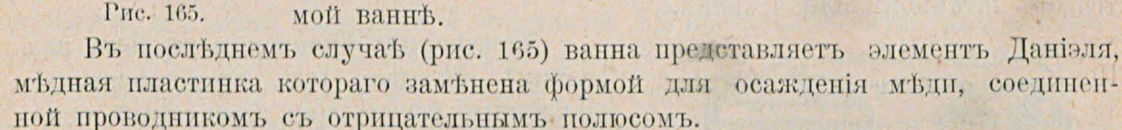


Рис. 165.

Для работъ въ небольшомъ масштабѣ источникомъ тока, какъ и при гальваностегіи, берется отдѣльная отъ ванны гальваническая батарея, или же токъ получается въ самой ваннѣ.

Въ послѣднемъ случаѣ (рис. 165) ванна представляетъ элементъ Даніэля, мѣдная пластинка котораго замѣнена формой для осажденія мѣди, соединенной проводникомъ съ отрицательнымъ полюсомъ.

Мѣдныя трубы готовятъ гальванопластическимъ путемъ, отлагая мѣдь на вращающихся стальныхъ валахъ и уплотняя обкатываніемъ агатовыми валиками.

§ 3. **Полученіе химически чистыхъ металловъ.** Металлы, полученные изъ рудъ выплавкой, содержатъ обыкновенно различныя примѣси. Когда нужно получить чистый металлъ, что особенно важно для мѣди, примѣняемой въ электротехникѣ, прибѣгаютъ къ осажденію его гальваническимъ путемъ. Для этого металлъ растворяютъ въ какой-нибудь кислотѣ и полученная соль служитъ электролитомъ. Токъ вновь выдѣляетъ изъ раствора соли металлъ, а примѣси остаются въ растворѣ. Изъ растворовъ золота въ растворѣ ціанистаго калія въ современной золотопромышленности его выдѣляютъ также дѣйствіемъ тока, осаждая на свинцовыхъ катодахъ.

§ 4. **Полученіе металловъ помощью электролиза.** Многіе металлы въ настоящее время получаются разложеніемъ ихъ соединеній помощью электролиза. Таковы легкіе щелочные металлы: калій и натрій (открытые этимъ способомъ въ 1807 г. Деви); щелочно-земельные: кальцій, барій, стронцій и магній. Нашедшій широкое распространеніе алюминій обязанъ своимъ удешевленіемъ примѣненію электролиза для его полученія. Въ практикѣ обыкновенно электролитомъ

служатъ расплавленныя соли получаемыхъ металловъ; демонстрировать же получение ихъ помощью электролиза можно и при обыкновенной температурѣ. Для полученія натрія пользуются его растворимостью въ ртути (образованіемъ амальгамы натрія).

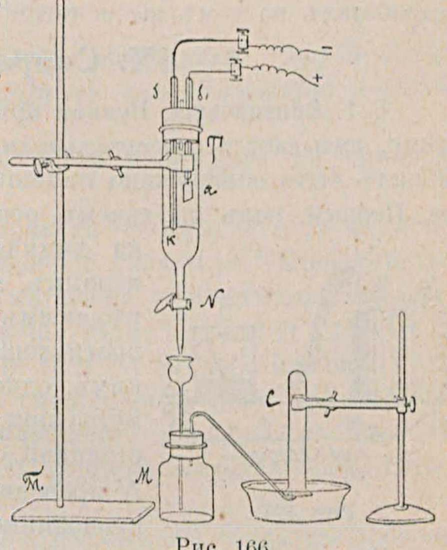


Рис. 166.

Въ трубку T (рис. 166) наливаютъ ртуть до погруженія въ нее платиноваго катода K, проходящаго внутри стеклянной палочки S. Такъ же защищенный платиновый анодъ оканчивается пластинкой a. Поверхъ ртути наливаютъ въ трубку концентрированный растворъ поваренной соли. Выдѣляющійся при электролизѣ натрій растворяется въ ртути, а хлоръ покрываетъ пузырьками пластинку, служащую анодомъ. Выпуская черезъ кранъ N ртуть въ склянку M, обнаруживаютъ присутствіе натрія въ ртути разложеніемъ имъ воды, налитой въ склянку. Выдѣляющійся при этомъ водородъ собирается въ цилиндрѣ C, давая возможность измѣрить количество выдѣлившагося натрія. Каждый гр. водорода отвѣчаетъ 23 грам. натрія, бывшаго въ амальгамѣ.

Для выдѣленія металла изъ расплавленной соли соль плавятъ въ фарфоровомъ тиглѣ, въ который погружены угольный анодъ и желѣзный стержень, служащій катодомъ.

§ **5. Примѣненіе электролиза въ химическихъ производствахъ.** Разлагая электролитически вещества, выдѣляющія хлоръ, производятъ этимъ путемъ бѣленіе тканей (*Лидовъ и Степановъ* 1882 г.). Пропуская токъ черезъ теплый растворъ хлористаго калія, получаютъ на катодѣ бертолетовую соль, а на анодѣ хлоръ. Послѣдній идетъ на приготовленіе бѣлильной извести. Производя электролизъ того же раствора въ холодномъ состояніи, на катодѣ получаютъ ѣдкій калій отъ дѣйствія образующихся іоновъ калія на воду *).

Разложеніе поваренной соли даетъ ѣдкій натръ; послѣдній легко перевести въ соду, какъ и ѣдкій калій въ поташъ **).

Дѣйствіе тихихъ разрядовъ и перемѣнныхъ токовъ на воду нашло примѣненіе для очистки сточныхъ водъ образующимся при этомъ озономъ.

§ **6. Катафоресъ.** При прохожденіи тока черезъ проводники второго класса (гл. I, § 3) параллельно съ электролизомъ замѣчается явленіе электрическаго эндосмоза или *катафореса*. Послѣднее состоитъ въ томъ, что электролитъ перемѣщается (диффундируя черезъ пористую перегородку—діафрагму) по направленію къ одному изъ полюсовъ, обыкновенно къ катоду. Явленіе было изучено въ 1861 г. *Квинке*. Если діафрагму сдѣлать подвижной, то она сама перемѣщается въ направленіи, обратномъ перемѣщенію электролита. Такое же перемѣщеніе (въ большинствѣ случаевъ къ аноду) испытываютъ механически примѣшанныя къ жидкому электролиту твердыя частицы, взвѣшенныя въ жидкости. Въ 1906 г. графъ *Шверинъ* показалъ возможность, пользуясь этимъ явленіемъ

*) $K+H_2O=KOH+H$.

**) $NaOH+CaCO_3+H_2O=NaHCO_3+Ca(OH)_2$.

собирать и высушивать такимъ образомъ взвѣшенныя вещества, напр., илообразный торфъ и ализаринъ. Въ 1907 г. инженеръ *В. В. Рюминъ* (въ Харьковѣ) выработалъ на томъ же основаніи способъ очистки загрязненныхъ водъ.

IX. Сопротивленіе проводовъ.

§ 1. **Обозначенія.** Всякая причина, ведущая къ уменьшенію силы тока въ цѣпи, называется *сопротивленіемъ цѣпи* (проводовъ). Измѣненіе сопротивленія можетъ быть обнаружено помощью гальванометра (амперметра) или вольтаметра. Первый, какъ мы знаемъ, основанъ на дѣйствіи тока на магнитъ, второй же на химическомъ дѣйствіи тока. Удобнѣе пользоваться первымъ, потому что показанія его одновременны съ измѣненіемъ сопротивленія. Проводники имѣютъ равныя сопротивленія, если ослабленіе силы тока, проходящаго по нимъ, одно и то же. Когда отклоненіе стрѣлки гальванометра при прохожденіи черезъ цѣпь тока батареи B постоянной силы не измѣняется при замѣнѣ проводника M N проводникомъ M_1N_1 (рис. 167), то сопротивленія этихъ проводниковъ равны.

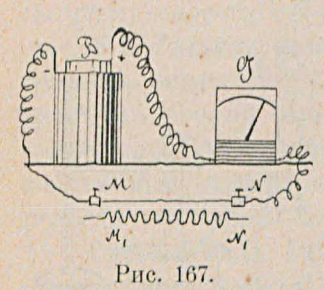


Рис. 167.

За единицу сопротивленій принимаютъ сопротивленіе проводника опредѣленныхъ размѣровъ, сдѣланнаго изъ опредѣленнаго матеріала.

Омъ есть сопротивленіе, оказываемое прохожденію тока ртутнымъ столбомъ, имѣющимъ 1 кв. мм. сѣченія и 1,063 м. длины и принятое за единицу. Удобнѣе практическая *единица Сименса*, равная сопротивленію такого же столба, но имѣющаго ровно метръ длины. Въ обоихъ случаяхъ температура ртути должна быть равна, при указанной длинѣ столба, 0°С.

1 омъ=1,063 ед. Сименса.

Обозначать омъ принято греческой буквой Ω. Сопротивленіе, въ милліонъ разъ большее, называется *мегаомомъ*.

§ 2. **Удѣльное сопротивленіе.** Сопротивленіе проводниковъ, имѣющихъ при 0°С длину, равную 1 метру, а сѣченіе 1 кв. мм., называется *удѣльнымъ сопротивленіемъ*. Оно зависитъ отъ вещества проводника. Величина, обратная удѣльному сопротивленію, называется *проводимостью*. Понятно, что, чѣмъ больше сопротивленіе, тѣмъ хуже вещество проводитъ токъ, т. е. тѣмъ меньше его проводимость.

Сравнивая сопротивленіе проводниковъ указанныхъ размѣровъ съ сопротивленіемъ ртутнаго столба въ м. длиною и 1 кв. мм. сѣченія (ед. Сименса), нашли, что удѣльное сопротивленіе и удѣльная проводимость:

ртути	1 ЕС	1
серебра	0,016	60
желѣза	0,1	9,67
мѣди	0,017	57
алюминія	0,03	37
висмута	1,4	0,7

5% раствора сѣрной кислоты	= 42.000	— 0,00002
15% „ „ „	= 15.000	— 0,00007
Насыщ. раств. мѣднаго купороса . . .	= 14.000	— 0,00007

Насыщ. раств. цинковаго купороса . . . = 13.000 — 0,00008.
Концентрированной азотной кислоты . . = 12.000 — 0,00008.

Наилучшимъ матеріаломъ для проводовъ является серебро, но въ виду его дороговизны въ практикѣ примѣняютъ мѣдь.

§ 3. Зависимость сопротивленія отъ размѣровъ проводника. *Сопротивленіе проводовъ прямо пропорціонально ихъ длинѣ и обратно пропорціонально площади сѣченія.*

Этотъ эмпирическій законъ можетъ быть легко провѣренъ на приборѣ, изображенномъ на рис. 167.

Выключая изъ цѣпи проводникъ MN и приведя клеммы M и N въ непосредственное соприкосновеніе, отмѣчаютъ отклоненіе указателя гальванометра. Взявъ нѣсколько проводовъ изъ одинаковаго матеріала и имѣющихъ по всей длинѣ одни и тѣ же размѣры поперечнаго сѣченія, разной длины (1 : 2 : 3 : 4....), вводятъ послѣдовательно ихъ между клеммами M и N. Уголъ отклоненія показателя гальванометра при этомъ каждый разъ уменьшается. Если при введеніи въ цѣпь проволоки длиною въ l стрѣлка приближается къ o шкалы на n дѣленій, то при замыканіи цѣпи проволокой въ $2l$ длиною стрѣлка приблизится на $n/_2$ дѣленій и т. д.

Изслѣдуя сопротивленіе цѣпи, вводя въ нее такимъ же образомъ проволоки одинаковой длины и состава, но имѣющія сѣченія, относящіяся, какъ 1 : 4 : 16, увидимъ, что и отклоненія указателя будутъ имѣть тѣ же отношенія, но въ обратномъ порядкѣ. Проволоки круглаго сѣченія, діаметры которыхъ относятся, какъ 1 : 2, а слѣдовательно площади какъ 1 : 4, имѣютъ сопротивленія, относящіяся, какъ 4 : 1.

Для проводниковъ, имѣющихъ видъ проволокъ равнаго по всей длинѣ сѣченія, формула сопротивленія выразится равенствомъ:

$$W = \frac{ls}{1{,}06q}\,\Omega,$$

гдѣ l длина въ метрахъ, q сѣченіе въ кв. мм., а s удѣльное сопротивленіе, зависящее отъ вещества, изъ котораго сдѣлана проволока.

Такъ, напримѣръ, желѣзная телеграфная проволока, длиною въ 10 клм., а сѣченіемъ въ 2 кв. мил., будетъ имѣть сопротивленіе:

$$W = \frac{10000 . 0{,}1}{2} = 500 \text{ ед. Сименса, или: } \frac{500}{1{,}06} = 472\ \Omega.$$

Сопротивленіе различныхъ жидкостей изслѣдуютъ, наливая ихъ въ сосудъ (рис. 168), имѣющій объемъ, равный 1 кб. см. Двѣ противоположныхъ стѣнки сосуда представляютъ платиновые электроды, соединенные съ проводниками a и k, съ помощью которыхъ сосудъ съ испытуемой жидкостью вводится въ цѣпь.

Рис. 168.

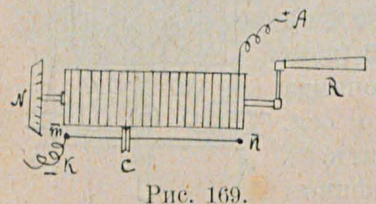


Рис. 169.

§ 4. Реостатъ. Для измѣренія сопротивленій и для введенія въ цѣпь опредѣленнаго сопротивленія служатъ различнымъ образомъ устраиваемые *реостаты*. Однимъ изъ первыхъ по времени реостатовъ является *агометръ Якоби*, устроенный въ 1841 г.

Приборъ состоитъ изъ проволоки, навитой на цилиндрическій непроводникъ (мраморный цилиндръ) (рис. 169). Токъ входитъ

изъ A въ проволоку и уходитъ черезъ мѣдное колесико c къ катоду K. Вращеніемъ рукоятки R можно передвигать колесико c, упирающееся въ проволоку агометра, отъ m къ n и обратно. Число полныхъ витковъ проволоки, вводимое такимъ образомъ въ цѣпь, отсчитывается по числу оборотовъ рукоятки R, а части витка по круговому ноніусу N. Зная сопротивленіе одного оборота, легко вычислить сопротивленіе части проволоки агометра, введенной въ цѣпь.

§ **5. Штепсельный реостатъ.** *Штепсельный реостатъ* или *ящикъ сопротивленій* состоитъ изъ толстыхъ латунныхъ пластинъ, врѣзанныхъ въ крышку деревяннаго ящика и соединенныхъ между собою внутри его тонкими проволоками, имѣющими опредѣленное сопротивленіе. Промежутки между латунными пластинами могутъ быть закрыты (рис. 170) мѣдными штепселями. Токъ входитъ черезъ клемму A и выходитъ черезъ B. Когда всѣ штепсели на мѣстахъ, то сопротивленіе реостата (чѣмъ площадь сѣченія проводника больше, тѣмъ сопротивленіе меньше) можно считать равнымъ нулю. Вынимая клемму 2, заставимъ токъ пройти по проволокѣ, сопротивленіе которой равно двумъ омамъ и т. д. На головкѣ каждаго штепселя написано число омъ, вводимыхъ въ цѣпь при его удаленіи изъ ящика. Такимъ образомъ легко подобрать нужное сопротивленіе, выраженное въ цѣлыхъ омахъ. При сопротивленіяхъ проволокъ, соединяющихъ латунные провода, послѣдовательно равныхъ: 1, 2, 2, 5, 10, 20, 20, 50, 100, 200, 200 и 500 омамъ, можно, вынувъ всѣ штепсели, довести сопротивленіе ящика до 1110 омъ, а также сдѣлать его равнымъ любому числу омовъ между 1 и 1110. Напримѣръ, если нужно ввести сопротивленіе въ 443 ома, то вынимають штепсели: 200+200+20+20+2+1.

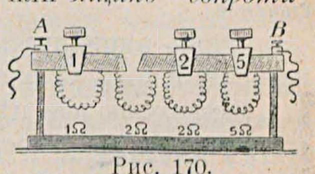
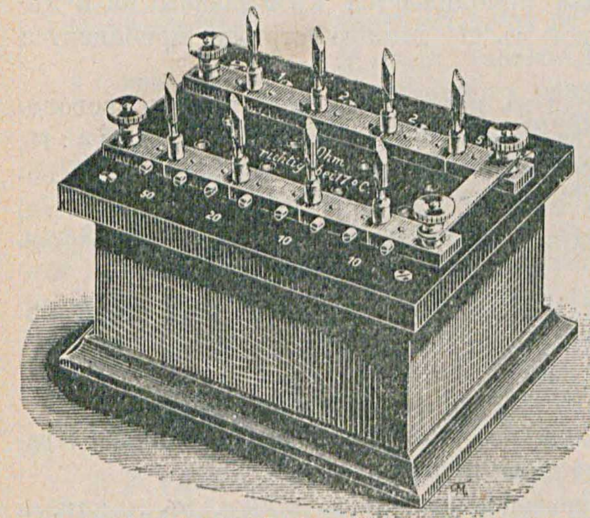


Рис. 170.


Рис. 171.

Внѣшній видъ штепсельнаго реостата изображенъ на рисункѣ 171.

§ **6. Шунтовый реостатъ.** Для большихъ электрическихъ установокъ, а также въ электродвигателяхъ и динамомашинахъ примѣняютъ *шунтовый реостатъ*. Схематически онъ изображенъ на рис. 172 и состоитъ изъ ряда зигзагообразно изогнутыхъ или скрученныхъ въ спирали проволокъ, соединенныхъ между собою и съ латунными кружками, расположенными по дугѣ круга. Мѣдная пластинка съ изолированной рукояткой (коммутаторъ) соединена съ однимъ изъ полюсовъ источника тока и укрѣплена такъ, что можетъ, вращаясь около оси, переходить съ одного кружка на другой. Токъ входитъ въ клемму A, проходитъ черезъ всѣ проволоки, расположенныя между A и тѣмъ кружкомъ, котораго касается пластинка, и,

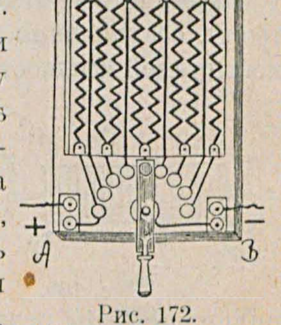


Рис. 172.

минуя остальныя проволоки, уходитъ черезъ пластинку въ клемму *B*. Понятно, что, поворачивая рукоятку къ *B*, переводимъ пластинку на кружки, ближе лежащіе къ *A*, т. е. уменьшаемъ сопротивленіе.

§ 7. Реостатъ съ жидкостью. Тамъ, гдѣ постоянство сопротивленія не играетъ особой роли, дорогіе и занимающіе много мѣста проволочные реостаты замѣняются такъ назыв. *реостатами съ жидкимъ сопротивленіемъ*. Рис. 173 изображаетъ схему, а вмѣстѣ съ тѣмъ и видъ такого прибора въ его простѣйшей формѣ. Глиняный сосудъ наполняютъ растворомъ какого-либо электролита (напр., соды), опуская въ него желѣзные листы L и L_1. Листы подвѣшены на стержняхъ S и S_1, соединенныхъ съ проводами A и K, вводящими приборъ въ цѣпь. При сближеніи стержней сопротивленіе уменьшается, при удаленіи увеличивается. Болѣе совершенная форма такого реостата представлена на рис. 174. Токъ отъ проводника *A*, изолированнаго отъ чугунныхъ стѣнокъ сосуда, по гибкому проводу *S* идетъ въ рычагъ *R*, пластинку *P* и черезъ жидкость въ стѣнки сосуда и въ проводникъ *K*. Чѣмъ ниже опущена ручка рычага, тѣмъ меньше сопротивленіе прибора. При горизонтальномъ положеніи рычага приборъ выводится изъ цѣпи, такъ какъ рычагъ при этомъ опирается на металлическую подставку *T*, и токъ отъ *A* черезъ рычагъ идетъ въ проводъ *K*, минуя жидкость. Достоинствомъ прибора является плавность (постепенность) измѣненія сопротивленія, а недостаткомъ—необходимость поддерживать неизмѣнной крѣпость раствора.

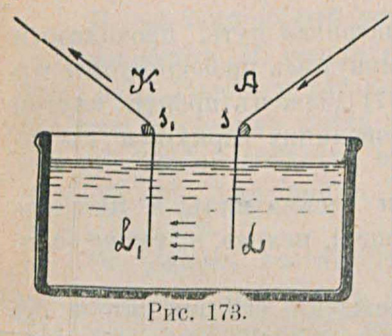


Рис. 173.

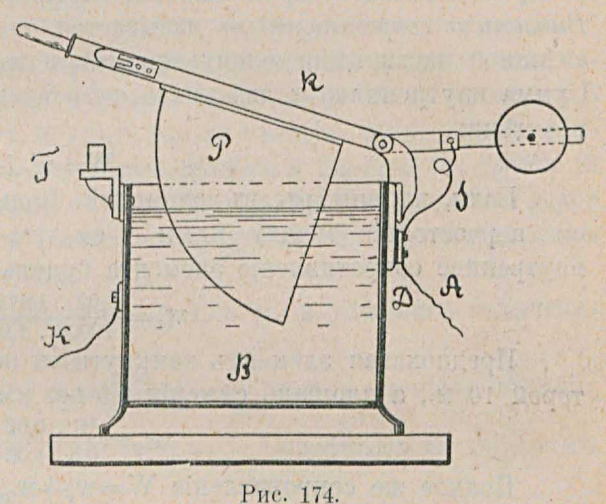


Рис. 174.

§ 8. Ламповый реостатъ. Весьма удобенъ своей наглядностью ламповый реостатъ (рис. 175), примѣняемый на распредѣлительныхъ доскахъ. Онъ устраивается изъ цѣпи послѣдовательно включенныхъ лампъ разныхъ сопротивленій. По числу горящихъ лампъ можно судить о сопротивленіи, введенномъ въ цѣпь. Такъ, на нашемъ рисункѣ токъ входитъ въ контактъ *A* и выходитъ изъ *B*, пройдя лишь черезъ одну крайнюю лампу. Чтобы включить, напр., три лампы, контактъ съ клеммой *B* ставятъ между 3-й и 4-й лампами и т. д.

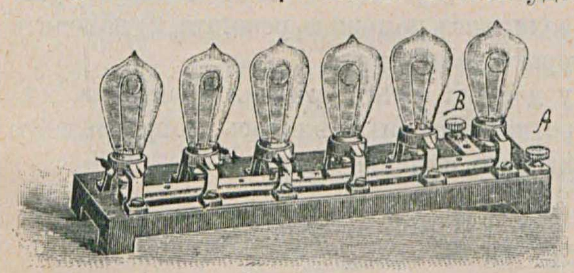
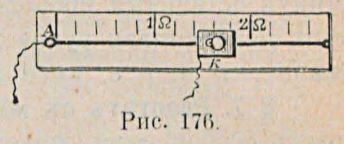


Рис. 175.

§ 9. Единица сопротивленій. Для измѣренія сопротивленій, выражающихся долями ома, примѣняется *эталонъ Сименса*. Онъ представляетъ тонкую никкели-

рованную струну, одинъ конецъ которой A соединенъ съ анодомъ источника тока, въ то время какъ катодъ послѣдняго соединенъ съ передвигающимся вдоль струны контактомъ K (рис. 176). Струна укрѣплена вдоль шкалы съ дѣленіями въ омахъ и частяхъ ихъ.


Рис. 176.

§ **10. Внутреннее и внѣшнее сопротивленіе.** Разсматривая путь, проходимый токомъ въ электрическомъ элементѣ, замкнутомъ проводникомъ, мы видимъ, что токъ отъ катода K (рис. 177) долженъ пройти внутри элемента къ аноду A, а отъ него по проводнику вернуться къ катоду.

Рис. 177.

Хотя путь тока между электродами весьма малъ, а площадь сѣченія столба жидкости, ихъ раздѣляющей, велика, но также велико и удѣльное сопротивленіе жидкости.

Сопротивленіе, испытываемое токомъ при прохожденіи его отъ катода къ аноду источника тока, называется *внутреннимъ сопротивленіемъ* (отъ K до A). *Внѣшнимъ сопротивленіемъ* называется сопротивленіе, испытываемое токомъ во внѣшней части цѣпи между анодомъ и катодомъ источника тока (отъ A до K). Сумма внутренняго и внѣшняго сопротивленія составляетъ полное сопротивленіе цѣпи:

$$W = w_1 + w_2.$$

Если, напримѣръ, въ элементѣ Вольты поверхность электродовъ=100 кв. см., а разстояніе между ними 2 см., то при 15% растворѣ сѣрной кислоты внутреннее сопротивленіе элемента будетъ равно:

$$w_1 = \frac{0{,}02 \,.\, 15000}{10000 \,.\, 1{,}06} = 0{,}03\ \Omega.$$

Предполагая элементъ замкнутымъ помощью мѣдной проволоки, длина которой 10 м., а площадь сѣченія 0,5 кв. мм., найдемъ внѣшнее сопротивленіе:

$$w_2 = \frac{10 \,.\, 0{,}02}{0{,}5 \,.\, 1{,}06} = 0{,}4\ \Omega.$$

Полное же сопротивленіе $W = w_1 + w_2$, отсюда равно:

$$0{,}03 + 0{,}4 = 0{,}43 \text{ ома.}$$

§ **11. Сравненіе сопротивленій.** Различные по матеріалу и размѣрамъ проводники могутъ имѣть одинаковое сопротивленіе. Это даетъ возможность: 1) сравнивать между собою сопротивленія проводниковъ помощью реостата, 2) находить размѣры проводника, сопротивленіе котораго дано.

Найдемъ, напримѣръ, какую длину должна имѣть мѣдная проволока, сѣченіе которой 0,5 кв. мм., чтобы сопротивленіе ея равнялось сопротивленію ртутнаго столба длиною въ 2,12 м., имѣющаго сѣченіе 2 кв. мм.

Сопротивленіе ртутнаго столба:

$$W_1 = \frac{2{,}12 \,.\, 1}{2 \,.\, 1{,}06}.$$

Сопротивленіе мѣдной проволоки:

$$W_2 = \frac{X \,.\, 0{,}02}{0{,}5 \,.\, 1{,}06}.$$ Отсюда, если $W_1 = W_2$, то

$$\frac{2{,}12 \,.\, 1}{2 \,.\, 1{,}06} = \frac{X \,.\, 0{,}02}{0{,}5 \,.\, 1{,}06};$$

$$X = 26{,}5 \text{ м.}$$

Сопротивленіе каждаго метра длины проволоки будетъ соотвѣтствовать сопротивленію: $\frac{2,12}{26,5}=0,08$ метра ртутнаго столба.

Сказаннымъ пользуются для опредѣленія сопротивленія проводника при помощи реостата по методу замѣщенія.

Взявъ постоянный источникъ тока B, вводятъ въ цѣпь гальванометръ M, реостатъ R и испытуемый проводникъ ρ (рис. 178). Реостатъ устанавливаютъ на нулѣ, т. е. такъ, чтобы токъ проходилъ лишь черезъ постоянныя по сопротивленію его части. Отмѣтивъ отклоненіе стрѣлки гальванометра, выключаютъ проводникъ ρ изъ цѣпи; сопротивленіе при этомъ падаетъ.

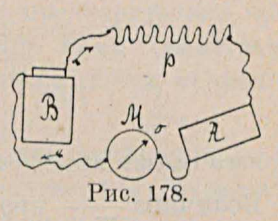


Рис. 178.

Введеніемъ соотвѣтственнаго числа оборотовъ агометра или удаленіемъ штепселя и т. п. вводятъ въ цѣпь сопротивленіе реостата, равное сопротивленію удаленнаго проводника, доводя отклоненіе стрѣлки гальванометра до первоначально отмѣченнаго положенія.

§ 12. **Сопротивленіе развѣтвленнаго проводника.** Когда проводникъ въ какомъ-нибудь мѣстѣ цѣпи A дѣлится на 2 вѣтви, сходящіяся вновь въ мѣстѣ B и имѣющія сопротивленіе: одна w_1, а другая w_2, то каждую такую вѣтвь можно мысленно замѣнить ртутнымъ столбомъ длиною въ 1,06 м. и имѣющимъ опредѣленное сѣченіе (рис. 179). Чтобы найти, какое именно сѣченіе будутъ имѣть эти ртутныя нити, приравняемъ ихъ сопротивленія сопротивленію вѣтвей.

Рис. 179.

Сопротивленіе ртутной нити, длина которой 1,06 м., а удѣльное сопротивленіе 1 :

$w_1=\frac{1,06\ .\ 1}{q_1\ .\ 1,06}=\frac{1}{q_1}$, откуда площадь сѣченія:

$q_1=\frac{1}{w_1}$. Подобнымъ же образомъ площадь сѣченія нижней вѣтви $q_2=\frac{1}{w_2}$.

Очевидно, если слить обѣ нити вмѣстѣ, то площадь сѣченія слитой нити будетъ равна суммѣ площадей сѣченій отдѣльныхъ вѣтвей, т. е.: $\frac{1}{w_1}+\frac{1}{w_2}$.

Обозначивъ сопротивленіе такой нити (имѣющей прежнюю длину 1,06 м.) черезъ W, а площадь поперечнаго сѣченія черезъ Q, по предыдущему найдемъ:

$W=\frac{1}{Q}$, откуда

$Q=\frac{1}{W}$, но, такъ какъ

$Q=q_1+q_2$, то

$$\frac{1}{W}=\frac{1}{w_1}+\frac{1}{w_2}$$

Слѣдовательно, зная сопротивленіе каждой отдѣльной вѣтви развѣтвленія (очевидно, что найденное правило справедливо для какого угодно числа вѣтвей), можно найти общее сопротивленіе развѣтвленной цѣпи.

Замѣтимъ, что общее сопротивленіе развѣтвленной цѣпи всегда меньше сопротивленія каждой отдѣльной вѣтви.

Если, напримѣръ, въ нашемъ примѣрѣ сопротивленіе верхней вѣтви $w_1 = 1\Omega$, а нижней $w_2 = 2\Omega$, то общее сопротивленіе $W = \frac{1}{\frac{1}{1\Omega} + \frac{1}{2\Omega}} = \frac{2}{3}\Omega$.

Преобразуя формулу:

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2}$$ въ такой видъ:

$$\frac{1}{W} = \frac{w_2 + w_1}{w_1 \cdot w_2}$$, или:

$$W = \frac{w_1 \cdot w_2}{w_1 + w_2}$$, видимъ, что сопротивленіе проводника, развѣтвленнаго на двѣ вѣтви, равно частному отъ дѣленія произведенія сопротивленій на ихъ сумму. Величина $\frac{1}{W}$ — проводимость, а слѣдовательно *сумма проводимостей вѣтвей равна проводимости неразвѣтвленной цѣпи.*

§ 13. Измѣненіе сопротивленія въ зависимости отъ измѣненія температуры проводника. Сопротивленіе провоцниковъ обыкновенно возрастаетъ съ повышеніемъ ихъ температуры.

Такъ, при нагрѣваніи металловъ сопротивленіе ихъ увеличивается въ среднемъ на каждый градусъ на 0,004 сопротивленія при 0°. Сопротивленіе ртути увеличивается лишь на 0,0009. Сопротивленіе другихъ жидкихъ проводниковъ, а также угля и нѣкоторыхъ окисей металловъ при нагрѣваніи падаетъ.

Такое вліяніе температуры на проводимость тока заставляетъ дѣлать части приборовъ, служащія для измѣренія сопротивленія, изъ такихъ веществъ, у которыхъ оно по возможности незначительно.

Таковы, напр., сплавы мѣди съ марганцемъ и никкелемъ. На этомъ же явленіи основано устройство аппаратовъ, измѣряющихъ температуру по измѣненію сопротивленій: *пирометра Сименса* и *болометра Лангдея,* описаніе которыхъ приведено нѣсколькими страницами ниже (гл. XI, §§ 6 и 7).

Вообще, чтобы найти сопротивленіе при $t°$, надо подставить въ формулу: $W_t = W_0(1 + \alpha t)$ значеніе W_0, т. е. сопротивленіе при 0°, и α—коэффиціентъ измѣненія проводимости. Напримѣръ, если сопротивленіе желѣза при 0° принять равнымъ 0,1, то при 1000° оно будетъ:

$$W_{1000} = 0{,}1\ (1 + 0{,}0048\ .\ 1000) = 0{,}48,$$

т. е. возрастетъ почти впятеро.

Для угля, обратно, уже при 100° оно будетъ

$$W_{100} = 47{,}7(1 - 0{,}008\ .\ 100) = 9{,}5.$$

§ 14. Измѣненіе сопротивленія нѣкоторыхъ проводниковъ подъ вліяніемъ магнитнаго поля и свѣта. Для отдѣльныхъ веществъ обнаружено, что проводимость ихъ мѣняется и отъ другихъ внѣшнихъ причинъ, помимо увеличенія температуры.

Риги замѣтилъ, что *висмутъ,* будучи внесенъ въ магнитное поле, мѣняетъ сопротивленіе, при чемъ возрастаніе сопротивленія его прямо пропорціонально возрастанію напряженности поля.

Для практическихъ цѣлей болѣе интереснымъ является свойство *селена* *), сопротивленіе котораго уменьшается подъ вліяніемъ свѣта.

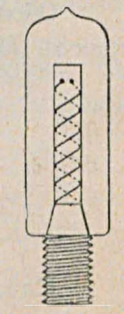


Рис. 180.

Руммеръ, помѣстивъ слой селена между двумя рядами мѣдныхъ проволокъ, обматывающихъ фарфоровый цилиндръ (рис. 180), заклю-

*) Элементъ группы сѣры. Въ виду своей рѣдкости довольно дорогъ. Открытъ въ 1817 г. *Берцеліусомъ.* Въ 1873 г. *Бидуэль* нашелъ, что его проводимость (величина, обратная сопротивленію) подъ вліяніемъ свѣта увеличивается.

ченный въ стеклянномъ колпачкѣ, изъ котораго выкачанъ воздухъ, изслѣдовалъ измѣненіе электропроводности селена. Въ описанномъ приборѣ оно мѣняется отъ 600 до 12000 омъ. Аппаратъ Руммера нашелъ интересное примѣненіе при устройствѣ такъ называемыхъ „свѣтовыхъ" телеграфовъ и телефоновъ.

Чтобы понять принципъ устройства этихъ приборовъ, предварительно придется намъ ознакомиться съ нѣкоторыми незатронутыми еще нами свойствами гальваническаго тока, а слѣдовательно отложить ихъ описаніе почти къ концу нашего курса (ч. IV, гл. IV, § 7).

Аналогичную способность уменьшенія сопротивленія при освѣщеніи *Іегеръ* нашелъ у минерала *антимонита* (Sb_2S_3), а недавно *Олье* подтвердилъ то же для искусственно приготовленной химически чистой сѣрнистой сюрьмы.

§ 15. Измѣненіе сопротивленія кристалловъ. Имѣется нѣсколько наблюденій, указывающихъ на измѣненіе сопротивленія кристаллическихъ тѣлъ въ зависимости отъ направленія по отношенію къ оси кристалла. Такъ, для кристалловъ висмута замѣчено, что электропроводность ихъ въ направленіи, перпендикулярномъ оси, относится къ электропроводности въ направленіи параллельномъ оси, какъ 1 : 1,7; для кристалловъ желѣзнаго блеска найдено аналогичное отношеніе 1,24 : 2,41.

Плохіе проводники обнаруживаютъ еще болѣе значительную разницу проводимости въ зависимости отъ направленія. Въ кристаллахъ исландскаго шпата проводимость въ направленіи, перпендикулярномъ оси, въ 10 разъ меньше, чѣмъ въ параллельномъ, а въ кристаллахъ кварца даже въ 2500 разъ. Замѣтимъ, однако, что опыты, продѣланные для обнаруженія этого свойства кристаллическихъ тѣлъ, пока весьма немногочисленны и не допускаютъ какихъ-либо общихъ выводовъ.

§ 16. Провода, примѣняемые въ практикѣ. Для проведенія электрической энергіи отъ мѣста ея полученія къ мѣсту пользованія ею, напр., отъ гальванической батареи къ звонку, отъ динамомашины (ч. IV, гл. VI) къ лампамъ накаливанія (ч. III, гл. XIII), служатъ провода.

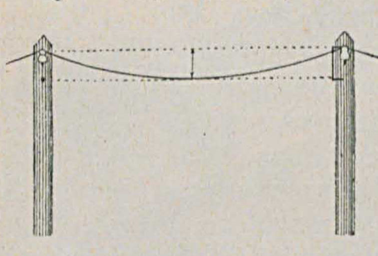


Рис. 181.

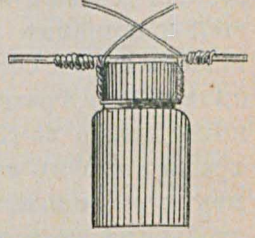


Рис. 182.

Главнымъ образомъ они дѣлаются изъ мѣди возможно лучшей проводимости и въ послѣднее время изъ алюминія. Ихъ проводятъ или неизолированными или изолированными. Первые исключительно при подвѣшиваніи на высокихъ столбахъ (рис. 181) на фарфоровыхъ изоляторахъ (рис 182) *(воздушная* проводка), вторые во всѣхъ остальныхъ случаяхъ, т. е. въ прокладкахъ: *домашней*, *подводной* и *подземной*, а также иногда и въ воздушной. Изолируютъ провода обмоткой шелковой нитью, парафинированной хлопчатобумажной нитью и гуттаперчей. Толстые провода, иногда свитые изъ отдѣльныхъ тонкихъ проводовъ, изолируют-

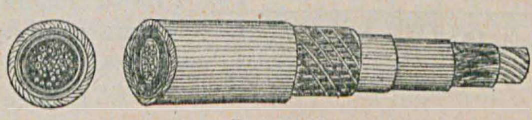


Рис. 183.

ся гуттаперчей и обертываются полосами листового желѣза. Такіе провода называются *кабелями* (рис. 183). Для телеграфныхъ проводовъ, какъ исключеніе, примѣняютъ желѣзныя проволоки.

X. Паденіе потенціала въ цѣпи.

§ 1. Измѣненіе потенціала по длинѣ однороднаго проводника. Представимъ себѣ однородный проводникъ, т. е. такой, сопротивленіе котораго одинаково по всей его длинѣ (рис. 184). Пусть длина его l, а разность потенціаловъ, служащая причиной передвиженія по проводнику электричества, V вольтъ. Соединяя одинъ конецъ проводника съ землею, т. е. приводя его потенціалъ къ 0, мы найдемъ, что потенціалъ другого конца будетъ V вольтъ. Каковы бы ни были потенціалы концовъ A и B до соединенія съ землей, разность ихъ V останется неизмѣнной подобно тому, какъ разность высотъ двухъ точекъ земной поверхности, соединенныхъ прямой AB, не зависитъ отъ ихъ высоты надъ уровнемъ моря. Но подобно тому, какъ точка C, лежащая по срединѣ прямой AB, находится вдвое ниже, чѣмъ точка B, такъ и разность потенціаловъ между концомъ и серединой однороднаго проводника равна половинѣ разности между его крайними точками.

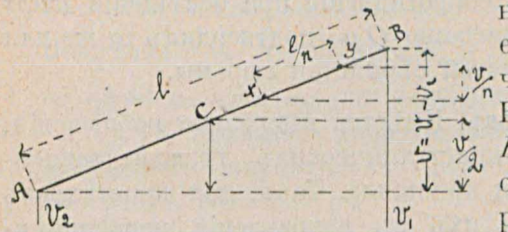


Рис. 184.

Такимъ же образомъ не трудно понять, что разность потенціаловъ между произвольно взятыми по длинѣ проводника точками x и y, разстояніе между которыми $\frac{l}{n}$, будетъ равна $\frac{v}{n}$ вольтъ (гл. II, § 4). Опытнымъ путемъ это можно обнаружить, замыкая постоянный элементъ (рис. 185) однороднымъ проводникомъ. Пусть при соединеніи катода съ землей разность потенціаловъ между нимъ и анодомъ—0,8 вольтъ. Дѣлимъ замыкающій проводникъ на 8 равныхъ частей и помощью вольтметра опредѣляемъ разность потенціаловъ двухъ сосѣднихъ точекъ дѣленія. Она будетъ равна 0,1 вольта. Обратно при помощи такого однороднаго проводника можно намѣтить дѣленія шкалы гальванометра, превративъ его въ вольтметръ. Зная разность потенціаловъ между электродами элемента, соединяютъ ихъ проводникомъ и дѣлятъ послѣдній на столько частей, сколькимъ десяткамъ вольтъ равняется разность потенціаловъ между клеммами элемента (или батареи). Соединяютъ клемму гальванометра съ однимъ изъ полюсовъ элемента, а другой послѣдовательно съ первымъ, вторымъ и т. д. дѣленіями по длинѣ проводника, отмѣчая каждый разъ на шкалѣ отклоненія стрѣлки гальванометра, соотвѣтствующія одной, двумъ и т. д. десятымъ вольта.

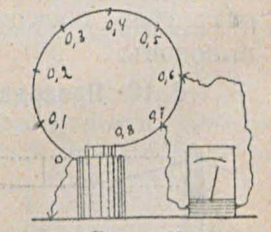


Рис. 185.

§ 2. Опредѣленіе потенціала въ точкахъ соединенія неоднородной цѣпи. Опредѣленіе паденія потенціаловъ неоднородной цѣпи, состоящей изъ проводниковъ различнаго сопротивленія, проще всего выяснить конкретнымъ примѣромъ.

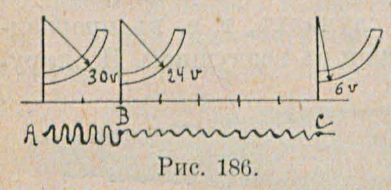


Рис. 186.

Положимъ, что мѣдная спираль, сопротивленіе которой равно 3 омамъ, соединена съ нейзильберовой проволокой, имѣющей

омовъ сопротивленія. Проводники включены въ цѣпь и имѣютъ въ A (рис. 186) 30, а въ C—6 вольтъ напряженія. Чему равно напряженіе въ точкѣ соединенія проводниковъ B?

Разность потенціаловъ между A и C 30—6=24 вольтамъ. Общее сопротивленіе—8 омовъ. На каждый омъ сопротивленія цѣпи паденіе потенціала равно $\frac{24}{8}$=3 вольтамъ; на протяженіи AB оно будетъ: 3×2=6 вольтъ. Отсюда потенціалъ B равенъ: 30—6=24 вольта.

Такимъ образомъ для опредѣленія потенціала въ точкѣ B, лежащей между крайними точками A и C неоднородной цѣпи, надо, раздѣливъ разность потенціаловъ между концами цѣпи, выраженную въ вольтахъ, на общее сопротивленіе цѣпи, выраженное въ омахъ, умножить частное на число омовъ сопротивленія цѣпи отъ начала ея A до данной точки B и вычесть полученное произведеніе изъ величины потенціала начальной точки A. Отсюда можно вывести важное практическое слѣдствіе: *всякая часть проводника можетъ быть замѣнена проводникомъ равнаго ей сопротивленія* (но другой длины, вещества и пр.).

§ 3. Мостикъ Уитстона. На основаніи вышеизложеннаго *Уитстонъ* въ 1849 г. предложилъ методъ измѣренія сопротивленій, названный его именемъ. Приборъ (рис. 187—схема, 188—внѣшній видъ) состоитъ изъ нейзильберовой проволоки AB, лежащей на шкалѣ съ дѣленіями, соединенной въ A и B съ проводникомъ Ax, сопротивленіе котораго надо измѣрить, и xB, сопротивленіе котораго извѣстно. Сопротивленіе однородной проволоки AB также извѣстно, а слѣдовательно и каждой части ея, соотвѣтствующей тому или иному дѣленію шкалы (въ однородныхъ проводникахъ сопротивленіе пропорціонально длинѣ).

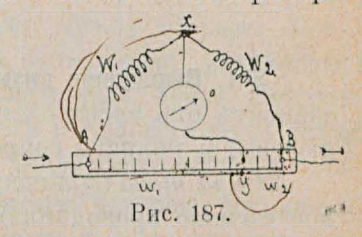


Рис. 187.

Токъ въ A дѣлится между вѣтвями проводника и идетъ, какъ прямо по AB, такъ и черезъ AxB. Точка x соединена проводомъ, проходящимъ черезъ гальванометръ, съ точкой y, могущей перемѣщаться по длинѣ AB (такъ назыв. *скользящій контактъ*). Потенціалы точекъ A и B во время дѣйствія прибора должны имѣть постоянныя величины.



Рис. 188.

Положимъ, что сопротивленіе части цѣпи Ax есть W_1, части By—W_2.

Переводя скользящій контактъ y мостика по длинѣ проволоки AB, можно найти такую точку y, при соединеніи которой съ x гальванометръ мостика обнаружитъ отсутствіе тока въ xy.

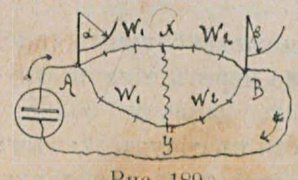


Рис. 189.

Мы знаемъ, что токъ проходитъ по проводнику только тогда, когда проводникъ соединяетъ источники электричества разныхъ потенціаловъ. Обратно, если въ какой-либо части нѣтъ тока, то это указываетъ, что эта часть цѣпи имѣетъ по всей длинѣ и по концамъ одинъ и тотъ-же потенціалъ (рис. 189).

Обозначая сопротивленіе въ частяхъ проволоки *AB*: въ *Ay* черезъ w_1, а въ *yB* черезъ w_2, найдемъ, что въ *xy* не будетъ движенія электричества при условіи $W_1 : W_2 = w_1 : w_2$.

Если сопротивленіе вѣтви $xB - W_2$ извѣстно, то сопротивленіе W_1 легко найти изъ пропорціи $W_1 : W_2 = l_1 : l_2$, гдѣ черезъ l_1 и l_2 обозначены длины частей однороднаго проводника *AB*, такъ какъ по вышесказанному: $W_1 : W_2 = l_1 : l_2$.

Отсюда: $W_1 = \frac{W_2 \cdot l_1}{l_2}$.

§ 4. Опредѣленіе внутренняго сопротивленія гальваническихъ элементовъ. При наличіи двухъ одинаковыхъ элементовъ ихъ соединяютъ одноименными полюсами, такъ что они взаимно замыкаютъ другъ друга, и вводятъ въ одну изъ вѣтвей Уитстонова моста (рис. 190). При этомъ испытуемые элементы не являются источникомъ тока, а лишь проводниками для тока внѣшняго источника въ цѣпи *AB*.

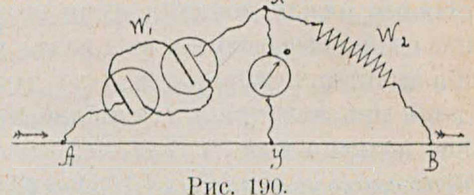


Рис. 190.

Найдя внутреннее сопротивленіе W_1 обоихъ элементовъ, остается раздѣлить его пополамъ, чтобы найти сопротивленіе каждаго изъ нихъ.

XI. Законъ Ома.

§ 1. Выраженіе силы тока. *Омъ* (1827 г.) показалъ, что сила тока въ цѣпи зависитъ отъ электродвижущей силы источника тока (разность потенціаловъ полюсовъ) и полнаго сопротивленія цѣпи.

Сила тока (количество электричества, протекающее въ 1 сек. черезъ поперечное сѣченіе проводника) *прямо пропорціональна электродвижущей силѣ и обратно пропорціональна сопротивленію* $J = \frac{e}{w}$.

Выражая электродвижущую силу въ вольтахъ, а сопротивленіе въ омахъ, найдемъ силу тока выраженной въ амперахъ. Единицею силы тока, равной 1 амперу, будетъ сила тока въ цѣпи при электродвижущей силѣ, равной 1 вольту, и сопротивленіи цѣпи, равному 1 ому. Въ зависимости отъ абсолютнаго значенія величинъ вольта и ома величина ампера будетъ выражать количество электричества, протекающее черезъ сѣченіе проводника въ 1 сек., равное 1 кулону (з. 10^9LE въ 1″). Говоря, напр., что сила тока равна 5 амперамъ, мы подразумѣваемъ, что въ 1 сек. протекаетъ 5 кулоновъ электричества, или что каждымъ 5 вольтамъ разности потенціаловъ, служащей источникомъ электродвижущей силы, соотвѣтствуетъ 1 омъ сопротивленія цѣпи (обратно: на 1 омъ нужны 5 вольтъ). Вмѣсто того чтобы сказать: электрическая лампочка расходуетъ 0,5 ампера, можно выразиться точнѣе, говоря, что на каждый омъ сопротивленія она требуетъ 0,5 вольта электродвижущей силы. Такимъ образомъ, если, наприм., сопротивленіе ея равно 220 омамъ, то „вольтажъ“ равенъ 110.

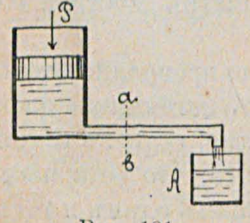


Рис. 191.

Нѣкоторой аналогіей силѣ тока можетъ служить (рис. 191) количество жидкости, протекающее черезъ сѣченіе трубы *ab* подъ давленіемъ груза *P*. Чѣмъ давленіе больше, тѣмъ больше въ 1 сек. вытечетъ жидкости въ сосудъ *A*; чѣмъ труба уже, тѣмъ ея вытечетъ меньше при томъ же давле-

ніи. При такихъ аналогіяхъ не надо лишь забывать, что электричество не вещество и что слова „количество электричества“, „теченіе электричества“ и пр. такіе же символы, какъ и выраженія „количество тепла“ или „переходъ теплоты“.

§ 2. Опытное подтвержденіе закона Ома. Для опытнаго подтвержденія закона *Ома* замыкаютъ источникъ тока проводникомъ, въ отвѣтвленіе котораго включаютъ гальванометръ съ дѣленіями шкалы, соотвѣтствующими амперамъ и ихъ долямъ (амперметръ), и магазинъ сопротивленій (рис. 192).

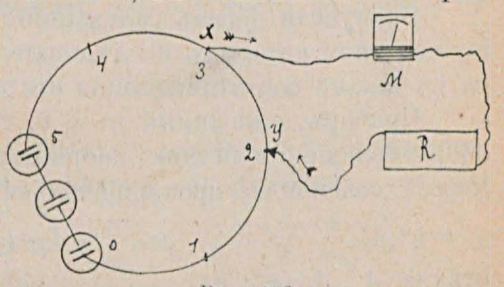


Рис. 192.

Разность потенціаловъ разноименныхъ полюсовъ источника тока извѣстна, какъ и паденіе потенціала въ главномъ проводникѣ. Отвѣтвленный проводникъ, въ который включены амперметръ *M* и реостатъ *R*, однимъ изъ своихъ концовъ можетъ перемѣщаться по длинѣ главнаго проводника. По разстоянію между его неподвижнымъ концомъ *X* и подвижнымъ *Y*, взятому на протяженіи главнаго проводника, находимъ электродвижущую силу въ отвѣтвленіи цѣпи. Она равна паденію потенціала между точками *X* и *Y* главнаго проводника. Отмѣтивъ положеніе указателя амперметра, раздвигаютъ точки *X* и *Y* на двойное противъ первоначальнаго разстоянія; число амперовъ возрастаетъ вдвое. Уменьшаютъ сопротивленіе магазина въ какое-нибудь число разъ противъ начальнаго; во столько же возрастаетъ „ампераж ъ“ цѣпи и т. д.

§ 3. Законъ Ома въ цѣпи, замыкающей гальваническую батарею. Положимъ, что въ цѣпь введено нѣсколько источниковъ тока и притомъ такъ, что направленіе тока, развиваемаго нѣкоторыми изъ нихъ, можетъ быть противоположно направленію тока остальныхъ. *Сила тока,* въ такомъ случаѣ, будетъ *прямо пропорціональна алгебраической суммѣ электродвижущихъ силъ и обратно пропорціональна суммѣ внутреннихъ и внѣшнихъ сопротивленій:*

$$J = \frac{\pm e_1 \pm e_2 \pm e_3 \pm \ldots}{w_1 + w_2 + w_3 + \ldots + W}.$$

Легко доказать опытомъ, что *электродвижущая сила одинаковыхъ элементовъ не зависитъ отъ ихъ размѣровъ.* Для этого достаточно пропустить токъ черезъ гальванометръ отъ двухъ одинаковыхъ элементовъ, напримѣръ, Даніэля, одного большого, а другого малаго. Токи, развиваемые элементами, должны имѣть противоположныя направленія. Какъ бы ни отличались элементы одинъ отъ другого своими размѣрами, указатель гальванометра будетъ стоять на нулѣ: сила тока въ цѣпи будетъ равна нулю. Такъ какъ въ этомъ случаѣ

$$J = \frac{e_1 - e_2}{w_1 + w_2 + W}, \text{ то}$$

$$J = 0 \text{ при } e_1 = e_2.$$

Это станетъ понятнымъ, когда вспомнимъ, что электродвижущая сила гальванической пары, т. е. разность потенціаловъ разноименныхъ полюсовъ, зависитъ только отъ химическихъ реакцій, происходящихъ въ элементѣ. Внутреннее же сопротивленіе элемента уменьшается съ увеличеніемъ поверхности электродовъ и сближеніемъ ихъ между собою.

§ 4. Вольтметръ и амперметръ. Такъ какъ сопротивленіе обмотки въ гальванометрѣ есть величина постоянная, то, пропуская черезъ обмотку токъ въ 1, 2, 3 и т. д. амперовъ, заставимъ указатель гальванометра отклоняться на углы, тангенсы которыхъ пропорціональны силѣ тока. Отмѣчая эти углы на шкалѣ, выразимъ ея дѣленія въ амперахъ. Гальванометръ съ такимъ дѣленіемъ шкалы называется *амперметромъ*.

Пропуская черезъ гальванометръ токъ отъ источниковъ тока, электродвижущая сила которыхъ послѣдовательно равна 1, 2, 3 и т. д. вольтамъ, и нанося на шкалѣ соотвѣтствующія отклоненія указателя, получимъ *вольтметръ*.

Приборъ, описанный въ § 8, гл. V, можетъ служить и вольтметромъ. Его сопротивленіе—величина постоянная; слѣдовательно, сила тока, проходящаго черезъ соленоидъ, пропорціональна электровозбудительной силѣ:

$$J = \frac{e}{w} \text{ и } J_1 = \frac{e_1}{w},$$

откуда: $J : J_1 = e : e_1$.

Величиною внутренняго сопротивленія источника тока можно пренебречь: она обыкновенно весьма мала по сравненію съ сопротивленіемъ тонкой обмотки вольтметра, доходящимъ до 8000 омовъ.

Вводя, напр., для измѣренія электровозбудительной силы одинъ элементъ Даніэля съ внутреннимъ сопротивленіемъ 0,1 ома, получимъ, что сила тока въ измѣрительномъ приборѣ, сопротивленіе котораго равно указанному выше, будетъ:

$$J = \frac{1{,}08}{8000.1},$$

а при двухъ послѣдовательно включенныхъ такихъ элементахъ

$$J_1 = \frac{2{,}16}{8000.2};$$

отношеніе $J : J_1 = 1 : 1{,}9999875$, что весьма близко къ отношенію 1 : 2.

Вообще замѣтимъ, что черезъ амперметръ идетъ весь токъ и, слѣдовательно, надо стремиться, чтобы въ немъ не было паденія потенціала, т. е. сопротивленіе обмотки должно быть возможно наименьшимъ; въ вольтметръ же отвѣтвляется лишь часть тока, теряющаяся для главной цѣпи, почему желательно для уменьшенія этой потери увеличивать сопротивленіе обмотки вольтметра.

Изъ технически примѣнимыхъ амперметровъ, помимо описаннаго выше пружиннаго амперметра, большимъ распространеніемъ пользуется *амперметръ Гуммеля*. Онъ имѣетъ видъ круглой коробочки съ указателемъ подъ стекломъ въ видѣ движущейся по дуговой шкалѣ стрѣлки. Сбоку коробочки расположены двѣ клеммы для включенія прибора въ цѣпь, а внутри обмотки *K* (схем. рис. 193) концентрично съ послѣдней укрѣплена изогнутая желѣзная пластинка *p*. При прохожденіи тока въ обмоткѣ пластинка *p* притягивается съ большей или меньшей силой къ внутренней сторонѣ обмотки *K*. Съ пластинкой *p* соединенъ рычажный указатель *S*.

Рис. 193.

§ 5. Сила тока въ развѣтвленномъ проводникѣ. Когда проводникъ, сила тока въ которомъ *J*, развѣтвляется въ *A* на нѣсколько вѣтвей (рис. 194), то, какъ мы уже знаемъ, общее сопротивленіе развѣтвленной цѣпи равно:

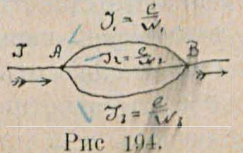


Рис. 194.

$W = \frac{1}{\frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3} + \ldots}$, гдѣ w_1, w_2, w_3—сопротивленія отдѣльныхъ вѣтвей.

Отсюда:

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3} + \ldots$$

Не измѣняя равенства, мы можемъ умножить обѣ его части на одну и туже величину e:

$$\frac{e}{W} = \frac{e}{w_1} + \frac{e}{w_2} + \frac{e}{w_3} + \ldots$$

Величина e есть электродвижущая сила,—разность потенціаловъ между точками A и B проводника, одинаковая для всѣхъ вѣтвей, соединяющихъ эти точки. Такимъ образомъ $\frac{e}{W} = J$—сила тока въ цѣпи, а $\frac{e}{w_1} = i_1$; $\frac{e}{w_2} = i_2$; $\frac{e}{w_3} = i_3$ и т. д. сила тока въ отвѣтвленіяхъ. Отсюда слѣдуетъ, что *сила тока въ развѣтвленномъ проводникѣ равна суммѣ силъ токовъ въ вѣтвяхъ.*

Изъ этой же формулы видно, что *силы токовъ въ вѣтвяхъ обратно пропорціональны сопротивленіямъ вѣтвей* (*Кирхгофъ*, 1847 г.).

Этотъ ***первый законъ Кирхгофа*** чаще формулируется слѣдующимъ образомъ: *алгебраическая сумма силъ токовъ, сходящихся въ данной точкѣ развѣтвленія, равна нулю.* Дѣйствительно, для точки, напр., A нашего чертежа токъ, идущій справа, можно считать имѣющимъ положительное значеніе (притекающій токъ), а токи, отходящіе влѣво (утекающіе токи), имѣющими отрицательное значеніе. Изъ формулы:

$$J = i_1 + i_2 + i_3$$

напишемъ

$$J - i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

или вообще

$$\Sigma i = 0.$$

Рис. 195.

Второй законъ Кирхгофа состоитъ въ томъ, что въ *замкнутомъ контурѣ* (Рис. 195) *сумма электродвижущихъ силъ равна суммѣ произведеній изъ силъ токовъ въ каждой вѣтви на сопротивленіе соотвѣтствующихъ вѣтвей.* Для доказательства этого закона положимъ, что у насъ имѣется замкнутая цѣпь изъ трехъ элементовъ, электродвижущія силы которыхъ E_1, E_2 и E_3. Они соединены послѣдовательно проводниками, имѣющими сопротивленія w_1, w_2 и w_3. Разность потенціаловъ на концахъ первой вѣтви обозначимъ черезъ $e_1 - e_2$, второй $e_3 - e_4$, третьей $e_5 - e_6$. По закону Ома силы токовъ въ вѣтвяхъ будутъ равны:

$$i_1 = \frac{e_1 - e_2}{w_1};$$

$$i_2 = \frac{e_3 - e_4}{w_2};$$

$$i_3 = \frac{e_5 - e_6}{w_3}.$$

Откуда:

$$i_1 w_1 = e_1 - e_2;$$
$$i_2 w_2 = e_3 - e_4;$$
$$i_3 w_3 = e_5 - e_6.$$

Суммируя, находимъ:

$$i_1 w_1 + i_2 w_2 + i_3 w_3 = (e_1 - e_2) + (e_3 - e_4) + (e_5 - e_6) = e_1 - e_2 + e_3 - e_4 + e_5 - e_6 = (e_1 - e_6) + (e_3 - e_2) + (e_5 - e_4),$$

но $e_1 - e_6$ есть разность потенціаловъ у клеммъ перваго элемента, т. е. его электродвижу

щая сила E_1, разность e_3-e_2, подобнымъ же образомъ, равна E_2; а $e_5-e_4=E_3$; слѣдовательно,

$$i_1w_1+i_2w_2+i_3w_3=E_1+E_2+E_3;$$

или вообще:

$$\Sigma E=\Sigma iw$$

§ 6. Пирометръ Сименса. Теперь мы можемъ вернуться къ описанію *пирометра Сименса* (гл. IX, § 11). Онъ состоитъ изъ источника тока (батареи изъ 6 элементовъ Лекланше) и развѣтвленнаго проводника (рис. 196), въ обѣ вѣтви котораго включены амперметры A, A_1. Сверхъ того, въ одну изъ вѣтвей включаютъ спираль R, сопротивленіе которой w_1 извѣстно, а въ другую платиновую проволоку P, вводимую въ пространство, температуру котораго надо измѣрить по сопротивленію x, мѣняющемуся съ измѣненіемъ температуры. Такъ какъ силы тока въ вѣтвяхъ i_1 и i_2 обратно пропорціональны сопротивленію вѣтвей, то остается по особымъ таблицамъ найти температуру, соотвѣтствующую сопротивленію проволоки P, которое опредѣляется изъ равенствъ:

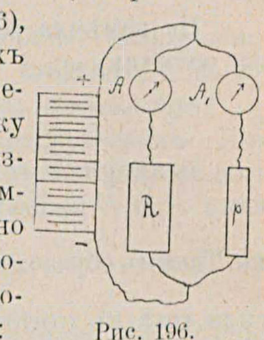


Рис. 196.

$$i_1=\frac{e}{w_1};\ i_2=\frac{e}{x};$$

$$i_1 : i_2 = x : w_1$$

$$\text{отсюда } x=\frac{i_1 w_1}{i_2}.$$

§ 7. Болометръ Ланглея. (1881 г.). Идея болометра чрезвычайно проста. Представимъ себѣ электрическій мостикъ Уитстона, въ вѣтвяхъ котораго сопротивленія подобраны такимъ образомъ, что стрѣлка гальванометра, введеннаго въ мостикъ, остается въ покоѣ. Если согрѣть одну изъ вѣтвей мостика, то сопротивленіе ея увеличится, отношеніе сопротивленій измѣнится, токъ пройдетъ по мостику и стрѣлка гальванометра отклонится. Сила тока при этомъ будетъ зависѣть отъ размѣровъ измѣненія сопротивленія; чтобы это измѣненіе было большимъ при слабомъ источникѣ теплоты, проводникъ долженъ представлять большое сопротивленіе и поглощать какъ можно меньше теплоты, т. е. онъ долженъ представлять очень тонкую проволоку или пластинку. Ланглей пользовался пластинками изъ стали, сотня которыхъ имѣла толщину листа бумаги. Такимъ образомъ болометръ Ланглея представлялъ собою мостикъ Уитстона, въ одной вѣтви котораго была введена изогнутая въ нѣсколько складокъ металлическая полоска въ 0,001 мм. толщины, въ 1 мм. (или менѣе) ширины и въ 10 мм. длины. На такую полоску направлялись лучи изслѣдуемой части спектра; одной секунды было достаточно для нагрѣванія этой полоски, и замѣтное отклоненіе стрѣлки гальванометра получалось уже при нагрѣваніи всего на одну милліонную долю градуса Цельсія.

Въ рукахъ Ланглея болометръ показалъ экспериментально, что максимумъ теплоты въ нормальномъ спектрѣ лежитъ въ оранжевой части его, а не въ инфракрасной, какъ это обыкновенно предполагали.

§ 8. Компенсаціонный способъ опредѣленія внутренняго сопротивленія. Когда имѣется только одинъ элементъ, сопротивленіе котораго должно быть опредѣлено, то опредѣленіе ведется компенсаціоннымъ методомъ *Дюбуа-де-Реймонда.*

Для этого включаютъ въ цѣпь (рис. 197) съ постояннымъ источникомъ тока E, дающимъ токъ въ направленіи отъ B изъ A, испытуемый элементъ E_1, такъ, чтобы онъ давалъ токъ въ обратномъ направленіи, гальванометръ и подвижный контактъ C. Контактъ C перемѣщаютъ по проводнику AB до тѣхъ поръ, пока стрѣлка гальванометра не остановится на нулѣ. Токи противоположныхъ направленій въ соотвѣтственной части цѣпи, слѣдовательно, будутъ компенсироваться. Если длина $AC=l$, то сила тока въ AC будетъ $J=\frac{E_1}{l}$. Замѣняя элементъ E_1 другимъ, обыкновенно нормальнымъ элементомъ Кларка (§ 9, гл. VII), находятъ новое положеніе контакта C, при которомъ длина $AC=l_1$, а сила тока $J=\frac{E_2}{l_2}$. Отсюда:

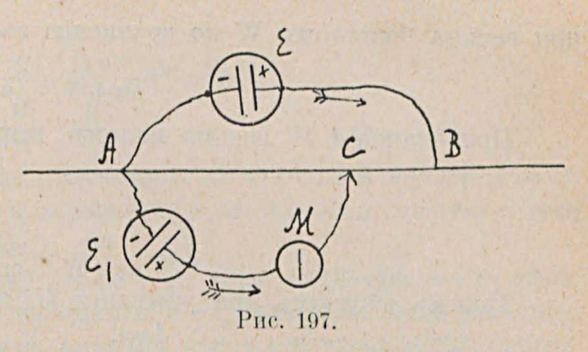


Рис. 197.

$$\frac{E_1}{E_2}=\frac{l_1}{l_2}.$$

Зная электродвижущую силу нормальнаго элемента E_2 и измѣривъ участки l_1 и l_2, находятъ, что искомая эл. возб. сила $E_1=E_2.\frac{l_1}{l_2}$.

XII. Соединенія элементовъ.

§ 1. Послѣдовательное соединеніе. Когда нѣсколько гальваническихъ элементовъ соединяются въ батарею такъ, что анодъ каждаго соединенъ съ катодомъ слѣдующаго, то такое соединеніе называется *послѣдовательнымъ* (рис. 198).

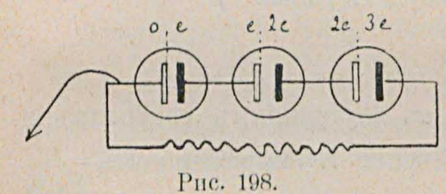


Рис. 198.

Если батарея составлена изъ n элементовъ равной электродвижущей силы e и одинаковаго внутренняго сопротивленія w, то электродвижущая сила батареи будетъ ne, общее сопротивленіе $nw+W$, а сила тока:

$$J=\frac{ne}{nw+W}=\frac{e}{w+\frac{W}{n}}.$$

Сила каждаго изъ такихъ элементовъ будетъ:

$$i=\frac{e}{w+W};$$

слѣдовательно, батарея изъ n элементовъ дѣйствуетъ такъ же, какъ дѣйствовалъ бы одинъ элементъ въ цѣпи, внѣшнее сопротивленіе которой въ n разъ меньше.

При возрастаніи величины W значеніе выраженія

$$J=\frac{e}{w+\frac{W}{n}}$$

приближается къ виду

$$J=ni,$$

потому что:

$$J=\frac{ne}{nw+W}=n\left(\frac{e}{nw+W}\right);$$

при весьма большомъ W по сравненію съ w можно принять:

$$\frac{e}{nw+W}=\frac{e}{w+W}=i.$$

При значеніи W весьма маломъ выраженіе $J=\frac{e}{w+\frac{W}{n}}$ можно преобразовать:

$$J=\frac{ne}{nw+W}=\frac{ne}{nw}=\frac{e}{w}=i.$$

Такимъ образомъ при убываніи *W* величина *J* стремится въ предѣлѣ къ i:

$$J=i.$$

Отсюда заключаемъ, что послѣдовательное соединеніе выгодно въ тѣхъ случаяхъ, когда внѣшнее сопротивленіе цѣпи весьма значительно (напримѣръ, телеграфъ).

Обратно, въ цѣпи съ весьма незначительнымъ внѣшнимъ сопротивленіемъ послѣдовательное соединеніе невыгодно.

§ 2. Параллельное соединеніе. *Параллельнымъ* соединеніемъ называется такое соединеніе, при которомъ аноды всѣхъ элементовъ соединены другъ съ другомъ, а катоды съ катодами (рис. 199). При этомъ соединеніи электродвижущая сила остается той же, какъ въ отдѣльномъ элементѣ батареи, а внутреннее сопротивленіе уменьшается въ *n* разъ. Получается какъ бы одинъ элементъ съ поверхностью электродовъ въ *n* разъ большей. Сила тока параллельно соединенной батареи будетъ равна:

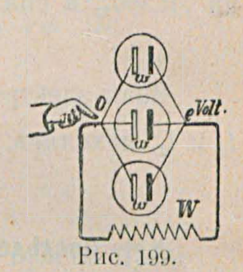


Рис. 199.

$$J=\frac{e}{\frac{w}{n}+W}.$$

Дѣйствіе то же, какъ отдѣльнаго элемента съ внутреннимъ сопротивленіемъ, въ *n* разъ меньшимъ. При возрастаніи значенія *W* выраженіе $J=\frac{e}{\frac{w}{n}+W}$ приближается къ виду: J=i (выводъ, какъ и въ случаѣ послѣдовательнаго соединенія).

Приближеніе значенія *W* къ нулю приближаетъ значеніе J къ виду J=ni.

Такимъ образомъ параллельное соединеніе безполезно въ цѣпяхъ, имѣющихъ значительное внѣшнее сопротивленіе, и, обратно, выгодно, когда внутреннее сопротивленіе элементовъ велико по сравненію съ внѣшнимъ (электрическій звонокъ).

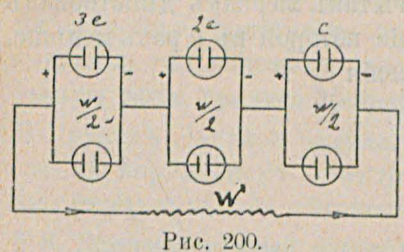


Рис. 200.

§ 3. Смѣшанное соединеніе. Когда соединено по нѣсколько элементовъ для уменьшенія внутренняго сопротивленія параллельно и полученныя группы соединены, какъ отдѣльные элементы, послѣдовательно (рис. 200), то такое соединеніе носитъ названіе *смѣшаннаго.* Въ случаѣ соединенія въ группы одинаковаго числа элементовъ, положимъ *m*, при наличіи *n* такихъ группъ сопротивленіе каждой будетъ $\frac{w}{m}$, а сила тока при включеніи группъ послѣдовательно:

$$J = \frac{n e}{\frac{n}{m} w + W} = \frac{e}{\frac{w}{m} + \frac{W}{n}} = \frac{Ne}{nw + mW},$$

гдѣ $mn = N$ общему числу элементовъ.

Найти наивыгоднѣйшее соединеніе элементовъ въ группы и группъ между собою можно, руководствуясь правиломъ: *внутреннее сопротивленіе батареи должно быть возможно близкимъ къ внѣшнему.*

Смѣшанное соединеніе обыкновенно берется въ тѣхъ случаяхъ, когда нѣтъ такой рѣзкой разницы въ величинахъ внѣшняго и внутренняго сопротивленія, т. е. не въ тѣхъ случаяхъ, при которыхъ выгодно послѣдовательное (W значительно $>$ w) или параллельное соединеніе (w значительно больше W).

Для доказательства того, что наибольшая сила тока получается при смѣшанномъ соединеніи, когда сумма внутреннихъ сопротивленій группъ элементовъ равна внѣшнему сопротивленію цѣпи, обозначимъ, какъ мы это дѣлали выше, число всѣхъ эл—овъ черезъ N: число группъ черезъ n, а число эл—овъ въ каждой группѣ черезъ m. Пусть эл.-возб. сила каждаго эл—та e вольтъ, внутреннее сопротивленіе w, а сопротивленіе внѣшней цѣпи W. Тогда по предыдущему $J = \frac{Ne}{n\,w + m\,W} = \frac{Ne}{mW + \frac{N}{m} w}$.

Найдемъ максимальное значеніе этого выраженія. Его знаменатель можно преобразовать въ слѣдующій видъ:

$$mW + \frac{N}{m} w = \sqrt{(mW + \frac{N}{m} w)^2} = \sqrt{m^2W^2 + 2NWw + \frac{N^2w^2}{m^2}} = \sqrt{4NWw + m^2W^2 - 2NWw + \frac{N^2w^2}{m^2}} =$$

$$= \sqrt{4NWw + (mW - \frac{Nw}{m})^2}.$$

Минимальное значеніе знаменателя, а, слѣдовательно, максимальное значеніе всей дроби: $J\,max = \frac{Ne}{2\sqrt{NWw}}$, когда $mW - \frac{Nw}{m} = 0$, т. е. когда $mW = \frac{N}{m} w$; $W = \frac{Nw}{m^2} = \frac{mnw}{m^2} = \frac{n}{m} w$ сумма внутреннихъ сопротивленій равна внѣшнему, что и требовалось доказать.

Число элементовъ въ отдѣльныхъ группахъ можетъ и не быть одинаковымъ.

Въ такомъ случаѣ, имѣя n группъ по m, m_1, m_2.... элементовъ въ каждой, найдемъ, что сила тока:

$$J = \frac{n e}{\frac{w}{m} + \frac{w}{m_1} + \frac{w}{m_2} + \ldots + W}.$$

§ 4. Соединеніе элементовъ въ батарею. Чтобы получить наибольшую силу тока отъ даннаго числа элементовъ, надо выбрать для каждаго отдѣльнаго случая наивыгоднѣйшее сочетаніе элементовъ, въ зависимости отъ ихъ числа, электродвижущей силы и величинъ внутренняго и внѣшняго сопротивленія.

Возьмемъ какой-нибудь численный примѣръ и найдемъ, въ зависимости отъ указанныхъ данныхъ, наивыгоднѣйшую комбинацію элементовъ.

Положимъ, что дано 6 элементовъ, e которыхъ $= 1{,}5$ в., вн. сопр. $w = 0{,}04$ ома и сопротивленіе внѣшней цѣпи $W = 0{,}06$ ома. Располагая въ группы, состоящія изъ равнаго числа элементовъ, получимъ слѣдующія комбинаціи:

1) $n=6$, $m=1$, 2) $n=3$, $m=2$, 3) $n=2$, $m=3$ и 4) $n=1$, $m=6$. Сила тока соотвѣтственно

$$J_1 = \frac{6e}{6w + W} = \frac{9}{0{,}24 + 0{,}06} = 30 \text{ амп.}$$

$$J_2 = \frac{3e}{3/2 w + W} = \frac{4{,}5}{0{,}06 + 0{,}06} = 37{,}5 \text{ амп.}$$

$$J_3 = \frac{2e}{\frac{2}{3}w + W} = \frac{3}{0{,}027+0{,}06} = \infty 34{,}5 \text{ амп.}$$

$$J_4 = \frac{e}{\frac{w}{6} + W} = \frac{1{,}5}{0{,}006+0{,}06} = \infty 22{,}7 \text{ амп.}$$

Наивыгоднѣйшая комбинація вторая, при которой внутр. и внѣшн. сопротивленія равны.

Положимъ еще, что n=5, w=0,06 Ω, W=0,08 Ω, а e=1 вольту.

Комбинаціи могутъ быть при послѣдовательномъ соединеніи отдѣльныхъ элементовъ и ихъ группъ изъ разнаго числа элементовъ слѣдующія: 1) 1+1+1+1+1, 2) 1+1+1+2, 3) 1+1+3, 4) 1+2+2, 5) 2+3, 6) 1+4 и 7) 5.

Значенія J будетъ для указанныхъ комбинацій:

$$J_1 = \frac{5e}{5w+W} = 13{,}16 \text{ амп.}$$

$$J_2 = \frac{4e}{3w + \frac{w}{2} + W} = 13{,}8 \text{ амп.}$$

$$J_3 = \frac{3e}{w+w+\frac{w}{3}+W} = 13{,}63 \text{ амп.}$$

$$J_4 = \frac{3e}{w+\frac{w}{2}+\frac{w}{2}+W} = 15 \text{ амп}$$

$$J_5 = \frac{2e}{\frac{w}{2}+\frac{w}{3}+W} = 15{,}38 \text{ амп.}$$

$$J_6 = \frac{2e}{w+\frac{w}{4}+W} = 12{,}9 \text{ амп.}$$

$$J_7 = \frac{e}{\frac{w}{5}+W} = 10{,}9 \text{ амп.}$$

Такимъ образомъ наивыгоднѣйшей въ данномъ случаѣ является 5-я комбинація.

XIII. Работа тока.

§ 1. **Законъ Джауля-Ленца**. Мы уже знаемъ, что работа тока выражается произведеніемъ его силы на электродвижущую силу и на время. T=Jet (§ 5, гл. II) Если e выражено въ вольтахъ, i въ амперахъ, a t въ секундахъ, то работа будетъ выражаться вольтъ-амперами или уаттами. Принявъ же во вниманіе, что сила тока

$$J = \frac{e}{w},$$

откуда: e=J . w, и подставляя въ предыдущую формулу найденное значеніе e, выразимъ работу равенствомъ:

$$T=e.J.t=JwJt=J^2wt \text{ (уаттъ).}$$

Работа тока прямо пропорціональна квадрату силы тока и прямо пропорціональна сопротивленію проводника, по которому токъ проходитъ, и времени. (*Джауль* въ 1841 и *Ленцъ* въ 1844 г.).

Такъ какъ сила тока въ каждомъ сѣченіи проводника одинакова, то работа прямо пропорціональна сопротивленію въ данныхъ сѣченіяхъ:

$$T=J^2w;$$

$$T_1=J^2w_1;$$

$$T : T_1=w : w_1.$$

Работа гальваническаго тока можетъ быть обнаружена и учтена при переходѣ ея въ теплоту. Механическая энергія, производящая работу въ 424 кгм., эквивалентна 1 калоріи. Подобно этому, 4170 вольтъ-амперъ эквивалентны также 1 калоріи тепла.

Замѣтимъ: 1 уаттъ$=\frac{1}{9,8}$ кгм. $=\frac{1}{9,8}\cdot\frac{1}{424}=0,24$ малыхъ калорій.

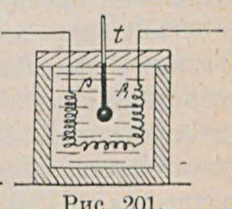


Рис. 201.

Для опытнаго (приблизительнаго) опредѣленія эквивалента работы тока и развиваемаго ею тепла служитъ калориметръ (рис. 201), наполненный алкоголемъ *). Въ калориметръ погружена тонкая платиновая проволока pp_1 и опущенъ термометръ t. Зная сопротивленіе проволоки и силу тока, находятъ работу тока. Для опредѣленія тепла, выдѣленнаго проволокой и пошедшаго на нагрѣваніе калориметра, пользуются формулой:

$$Q=m\ .\ c_1\ (t_2-t_1)+A(t_2-t_1),$$

гдѣ Q—количество тепла, m—масса алкоголя, c_1—его теплоемкость, t_1 и t_2—начальная и конечная температуры калориметра и A—количество тепла, идущее на нагрѣваніе на $1°C$ сосуда калориметра, мѣшалокъ, термометра и пр.

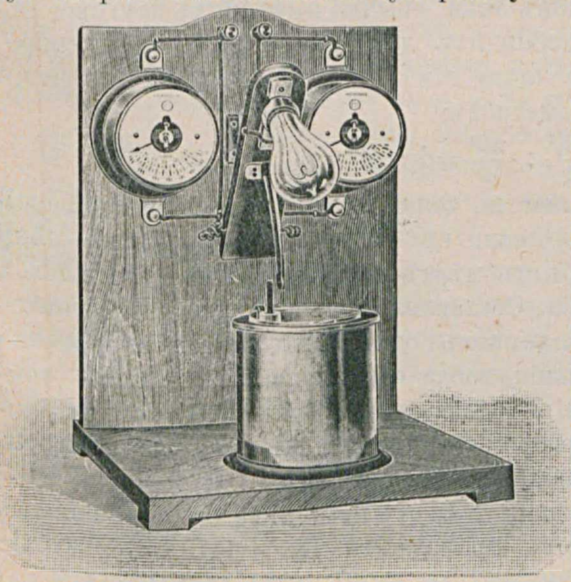
Для окончательнаго уясненія зависимости между работой тока и развивающейся при этомъ теплотой разберемъ численный примѣръ. Положимъ, что лампочка накаливанія, сопротивленіе которой 220 омовъ, требуетъ для горѣнія разности потенціаловъ въ 110 вольтъ.

Сила тока: $J=\frac{110}{220}=0,5$ амп. работа: $T=J^2\ .\ w=0,25\ .\ 220=55$ уаттовъ.

Количество тепла, выдѣляемое лампочкой въ единицу времени (1 сек.):

$$Q=55\ .\ 0,24=13,2 \text{ малыхъ калорій.}$$

Переходъ механической энергіи въ тепловую не происходитъ въ практикѣ полностью; работа тока тоже лишь частью переходитъ въ теплоту, въ химическую энергію или механическую работу.


Рис. 202

Для практическаго опредѣленія количества тепла, выдѣляемаго лампочкой накаливанія, примѣняется приборъ, изображенный на рис. 202. Въ немъ испытуемая лампа ввинчивается въ патронъ, укрѣпленный на крышкѣ калориметра и соединенный съ вольтъ и амперметромъ. Опредѣливъ мощность тока, питающаго лампочку, время ея накаливанія и выдѣленное количество тепла, найдемъ практическій коэффиціентъ

$$A\ .\ E\ .\ J=\frac{Q}{S},$$

гдѣ A искомый коэф., E—вольтажъ, J—амперажъ лампы, Q—количество тепла и S—время въ секундахъ.

*) Алкоголь одновременно является изоляторомъ.

§ **2. Зависимость нагрѣванія проводника отъ его размѣровъ.** Изъ приведенныхъ формулъ можно вывести, что при одинаковой силѣ тока проводники будутъ нагрѣваться тѣмъ сильнѣе, чѣмъ ихъ сопротивленіе больше. Вспомнивъ зависимость сопротивленія отъ вещества проводника и его размѣровъ, найдемъ, что при одинаковыхъ размѣрахъ сильнѣе нагрѣвается проводникъ меньшей удѣльной проводимости, проводники изъ одного и того же матеріала и равныхъ сѣченій нагрѣваются прямо пропорціонально длинѣ *), а при равной длинѣ и разныхъ сѣченіяхъ обратно пропорціонально площади сѣченія. Въ калориметрѣ всѣ указанные выводы подтверждаются прямымъ путемъ опыта. Въ частности, для нагляднаго доказательства зависимости степени нагрѣванія отъ вещества проводника пользуются термостатомъ, изображеннымъ на рис. 203. Въ немъ равные по длинѣ и сѣченію отрѣзки проволокъ изъ различныхъ металловъ соединены другъ съ другомъ и съ клеммами *A* и *K*. Каждый отрѣзокъ заключенъ въ стеклянный баллонъ, на днѣ котораго налитъ подкрашенный спиртъ. Стеклянныя, открытыя съ обоихъ концовъ трубки выходятъ изъ баллоновъ, начиная отъ самаго ихъ дна. Объемы баллоновъ и уровень налитаго въ нихъ спирта одинаковы, почему при неравномѣрномъ нагрѣваніи проволокъ воздухъ въ баллонахъ расширяется различно и вытѣсняетъ подкрашенный спиртъ въ вертикальныя трубки на высоту тѣмъ большую, чѣмъ меньше проводимость отрѣзка проволоки, заключеннаго въ данномъ баллонѣ.

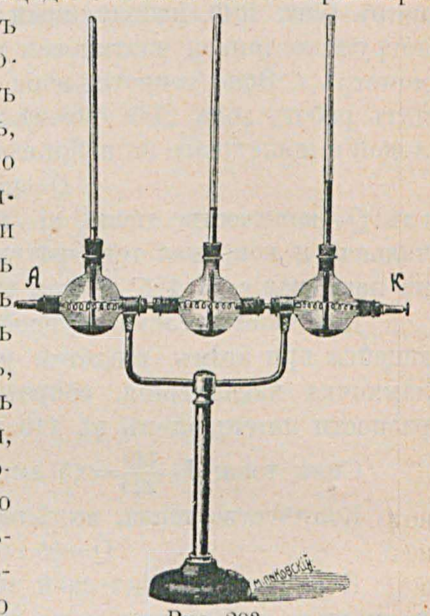


Рис. 203.

Замѣтимъ, что нагрѣваніе проводовъ тока, обычно имѣющихъ круговое сѣченіе, обратно пропорціонально 2-й степени ихъ діаметровъ, такъ какъ сопротивленія ихъ обратно пропорціональны площадямъ сѣченій, а площади сѣченій прямо пропорціональны квадратамъ діаметровъ:

$$W : W_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} : \frac{\pi d^2}{4} = d_1^2 : d^2.$$

Таково же будетъ отношеніе количествъ тепла, выдѣляемыхъ каждой единицей массы проволокъ. Слѣдовательно, если въ опредѣленномъ мѣстѣ цѣпи надо повысить ея температуру, то въ этомъ мѣстѣ включаютъ въ цѣпь плохой проводникъ малаго поперечнаго сѣченія. Составляя цѣпь изъ ряда слѣдующихъ поочередно тонкихъ и толстыхъ проводниковъ одинаковаго матеріала, можно довести тонкіе проводники до накаливанія, тогда какъ толстые останутся темными. Такой же результатъ получится въ цѣпи изъ отрѣзковъ разной проводимости, напримѣръ, желѣзныхъ и серебряныхъ, имѣющихъ равные размѣры. Первые раскалятся до свѣченія значительно раньше вторыхъ.

§ **3. Разсчетъ проводовъ.** Для передачи тока отъ источника его полученія къ мѣстамъ потребленія энергіи примѣняютъ провода (гл. IX, § 11), поглощающіе

---

*) Но такъ какъ масса проводника возрастаетъ съ его длиной, то *температура* проводниковъ въ этомъ случаѣ будетъ одинаковой (растетъ *количество* тепла).

непроизводительно часть энергіи на свое нагрѣваніе. Чѣмъ провода толще, тѣмъ меньше $^0/_0$ этой потери и тѣмъ ниже температура ихъ нагрѣванія. Нагрѣваніе проводовъ до значительной температуры, помимо убыточности, опасно въ пожарномъ отношеніи. Безполезная трата энергіи въ проводахъ пропорціональна паденію въ нихъ потенціала *). Эта потеря напряженія, выраженная въ $^0/_0$ отъ разности потенціаловъ источника тока, т. е. его электро-движ. силы, не должна превышать опредѣленнаго максимума: отъ 2 $^0/_0$ (въ небольшихъ установкахъ) до 15 $^0/_0$ (въ большихъ установкахъ). Однако увеличеніе сѣченія проводовъ сверхъ допускаемаго минимума тоже не выгодно въ матеріальномъ отношеніи.

Выбравъ величину указаннаго паденія потенціала, выраженную по формулѣ Ома черезъ $e=iw$, можно вычислить соотвѣтствующую ей площадь сѣченія провода.

Мы знаемъ, что $w=\frac{l\,.\,s}{q}$ (§ 3, гл. IX), откуда

$$q=\frac{l\,.\,s}{w} \text{ кв. мм.}$$

Положимъ, что эл.-дв. сила источника тока 1000 вольтъ, а сила тока 10 амп.; допустимъ максимальную потерю напряженія въ проводахъ 10%. Это значитъ, что 900 . 10 вольтъ—амперъ идутъ на совершеніе полезной работы, а 100 . 10 теряются на нагрѣваніе проводовъ. Найдемъ діаметръ мѣднаго провода, удѣльная проводимость котораго 0,017, а длина 4000 метр. Его сопротивленіе $w=\frac{i}{e}=\frac{100}{10}=10$. Площадь сѣченія $q=\frac{4000\,.\,0{,}017}{10}=6{,}8$ кв. мм.

$$d=\sqrt{\frac{4q}{\pi}}=2\sqrt{\frac{6{,}8}{3{,}14}}, \text{ около 5 мм.}$$

§ 4. Гальваническая искра. При замыканіи, а особенно при размыканіи разноименныхъ проводовъ гальваническаго тока батареи, замѣчается появленіе искры. На практикѣ этимъ пользуются, чтобы безъ помощи гальваноскопа рѣшить вопросъ: есть ли токъ въ цѣпи? (Понятно лишь для токовъ слабаго напряженія, т. е. малаго числа вольтъ). Разрѣзавъ, напримѣръ, изолированный проводникъ электрическаго звонка, или обнаживъ отъ изолировки сосѣднія мѣста проводовъ, идущихъ отъ разныхъ полюсовъ батареи, сближаютъ неизолированные проводники до соприкосновенія, а затѣмъ быстро разводятъ. (Въ первомъ случаѣ при нажатой кнопкѣ звонка, во второмъ при неприжатой).

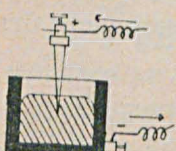


Рис. 204.

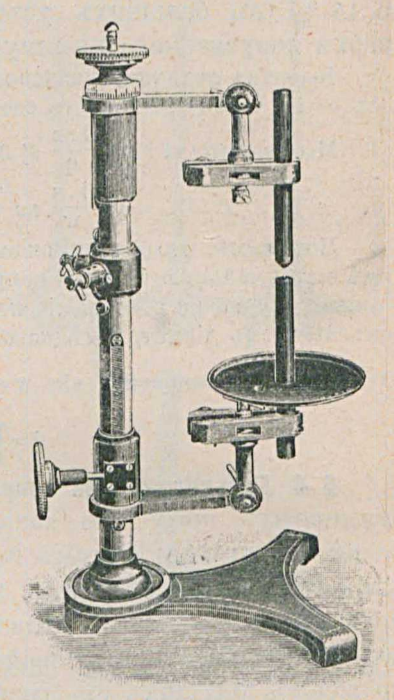
Еще лучше явленіе такой гальванической искры можно обнаружить помощью приспособленія, изображеннаго на рис. 204. Въ желѣзную чашечку налита ртуть. Чашечка соединена клеммой съ проводомъ тока. Въ ртуть опущенъ желѣзный стержень, оканчивающійся остріемъ и соединенный клеммой съ проводомъ отъ другого полюса батареи. Погружая штифтъ въ ртуть, замыкаемъ, вынимая—размыкаемъ токъ. Если вынимать штифтъ очень медленно, то можно видѣть, что, по мѣрѣ того какъ поверхность соприкосновенія конца штифта становится меньше, температура его повышается и, наконецъ, остріе накаливается. Быстрое выниманіе (размыканіе) сопровождается тѣмъ же явленіемъ и производитъ на глазъ впечатлѣніе искры.

XIV. Практическія примѣненія теплового дѣйствія тока.

§ I. Вольтова дуга. Когда по плохому проводнику идетъ токъ достаточной силы, то при размыканіи проводника появляется гальваническая искра, от-

*) Но не во всей цѣпи, а только въ самихъ проводахъ.

личающаяся значительной яркостью. Такое мгновенное свѣтовое явленіе можетъ быть продолжено разведеніемъ концовъ проводника на такое разстояніе, чтобы токъ между ними не прерывался. Если, напримѣръ, соединить съ полюсами сильнаго источника тока угольные стержни (рис. 205) и сблизить ихъ концами, то между ними появится ослѣпительно яркая свѣтовая дуга. Впервые это было подмѣчено и описано нашимъ соотечественникомъ, проф. *В. В. Петровымъ*, еще въ 1802 г. Открытіе его не обратило на себя вниманія иностранныхъ ученыхъ и даже до сихъ поръ съ нимъ связываютъ имя *Г. Дэви*, много позже (въ 1813 г.) самостоятельно получившаго то же явленіе.


Рис. 205.

Свѣтовая энергія, развиваемая дугой, представляетъ лишь часть тепловой (10%). Дуга имѣетъ температуру до 3500° С; въ ней плавятся всѣ металлы, размягчаются неплавкія земли и даже уголь. Дуга, образующаяся въ моментъ раздвиженія углей, продолжаетъ свѣтить и при нѣкоторомъ удаленіи ихъ другъ отъ друга, такъ какъ раскаленныя частички угля, несущіяся отъ положительнаго полюса къ отрицательному, служатъ лучшимъ проводникомъ, чѣмъ воздухъ. Явленіе вольтовой дуги отличается отъ явленія электрической искры (мгновеннаго разряда) тѣмъ, что въ послѣднемъ случаѣ разрядъ (уравниваніе потенціаловъ) происходитъ черезъ плохой проводникъ, требуя значительной разницы потенціаловъ полюсовъ, тогда какъ въ вольтовой дугѣ среда между концами углей имѣетъ проводимость значительно высшую по сравненію съ проводимостью воздуха, почему напряженіе тока можетъ быть значительно меньшимъ. Разность потенціаловъ въ 40—50 вольтъ уже достаточна для полученія дуги. Эмпирическая формула разности потенціаловъ, въ зависимости отъ разстоянія между углями l, имѣетъ видъ:

$$e = 39 + 2l,$$

гдѣ l выражено въ миллиметрахъ, а e въ вольтахъ.

Еще Дэви замѣтилъ, что подъ вліяніемъ магнита дуга испытываетъ отклоненіе. Дальнѣйшее изученіе этого явленія (послѣ открытія Эрстедта) показало, что отклоненіе дуги аналогично отклоненію подвижнаго проводника гальваническаго тока.

Получая вольтову дугу между углями въ воздухѣ, можно обнаружить, что по мѣрѣ сгоранія углей разстояніе между ними увеличивается, дуга слабѣетъ и, наконецъ, явленіе прекращается, когда сопротивленіе прохожденію тока между концами углей достигнетъ извѣстнаго предѣла.

При этомъ оказывается, что уголь, соединенный съ положительнымъ полюсомъ, сгораетъ вдвое скорѣе соединеннаго съ отрицательнымъ. На концѣ по-

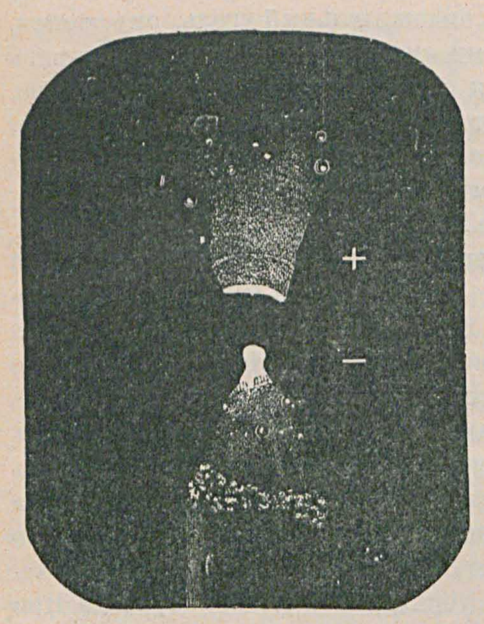


Рис. 206.

ложительнаго угля образуется воронкообразное углубленіе. (Рис. 206).

§ 2. **Дуговая лампа**. Практическое использованіе явленія вольтовой дуги для освѣщенія стало возможнымъ съ 1843 г., когда *Л. Фуко* замѣнилъ мягкіе, быстро сгорающіе угли коксовыми палочками. Однако не хватало еще дешеваго источника тока, такъ что до изобрѣтенія динамо-машины (ч. IV, гл. VI) освѣщеніе вольтовой дугой было слишкомъ не экономично для постояннаго пользованія. Первая установка освѣщенія дуговыми лампами была сдѣлана *Гефнеръ-Альтенекомъ* въ 1878 г., но окончательно вошли въ повседневный обиходъ дуговыя лампы съ 1894 г., когда *Джандусъ* помѣстилъ угольные стержни внутри колпака съ разрѣженнымъ пространствомъ, что значительно замедлило сгораніе углей. Такія лампы съ „закрытой дугой", однако, менѣе экономичны и горятъ не такъ равномѣрно, какъ лампы съ „открытой" дугой. Положительный уголь обыкновенно помѣщаютъ сверху, а колпакъ снабжаютъ абажуромъ. Источникомъ свѣта лампы является главнымъ образомъ кратеръ (воронкообразное углубленіе) положительнаго угля. Сама же дуга имѣетъ пламя слегка голубоватаго цвѣта, тогда какъ раскаленный уголь посылаетъ ослѣпительно бѣлые лучи. Примѣняются дуговыя лампы для освѣщенія улицъ, мастерскихъ и т. п., требуютъ ежедневнаго осмотра и частой замѣны отработавшихъ углей. Требуя силу тока отъ 3 до 50 и болѣе амперъ, дуговая лампа расходуетъ около 0,4 уатта на свѣчу, почему въ экономическомъ отношеніи выгоднѣе лампъ накаливанія (см. ниже), но при условіи, что сила свѣта не менѣе 100 свѣчей.

§ 3. **Регуляторъ**. Практическое неудобство болѣе быстраго сгоранія положительнаго угля привело къ устройству при дуговыхъ лампахъ автоматическихъ регуляторовъ разстоянія между концами углей (*Стэтъ*, 1847 г.). Изъ многочисленныхъ системъ такихъ регуляторовъ опишемъ схему устройства электромагнитнаго регулятора, выработаннаго въ 1880 г. *Крицикомъ*. Въ немъ положительный уголь (рис. 207) укрѣпленъ на концѣ рычага, имѣющаго точку опоры въ *A*. На томъ же плечѣ рычага подвѣшенъ обращенный остріемъ внизъ, конусообразный сердечникъ электромагнита *E*. Другое плечо рычага поддерживается въ горизонтальномъ положеніи пружиною *f*. Токъ, питающій лампу, развѣтвляется, направляясь частью въ угли, частью въ обмотку катушки *S*, окружающей сердечникъ *E*. При увеличеніи разстоянія между концами углей сопротивленіе прохожденію тока возрастаетъ. Токъ идетъ въ обмотку *S* и сердечникъ *E* втягивается внутрь катушки. Плечо рычага, къ которому при-

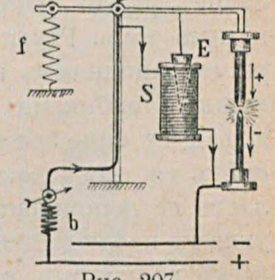


Рис. 207.

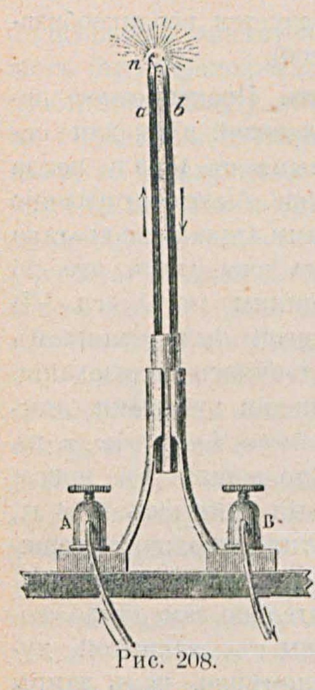


Рис. 208.

крѣплены сердечникъ и положительный уголь, опускается. Разстояніе между углями снова уменьшается, а вмѣстѣ съ тѣмъ уменьшается и сопротивленіе прохожденію тока. Такимъ образомъ разстояніе между концами углей во все время горѣнія остается одинаковымъ. Если бы угли сблизились больше, чѣмъ надо, то сердечникъ поднялся-бы пружинкой *f* вверхъ.

§ 4. Свѣча Яблочкова. Задача освѣщенія вольтовой дугой безъ регулятора была рѣшена извѣстнымъ русскимъ изобрѣтателемъ, *Яблочковымъ*, въ 1876 г. Угли *a* и *b* въ свѣчѣ Яблочкова (рис. 208) поставлены параллельно и раздѣлены слоемъ вещества, проводящаго токъ лишь при расплавленіи. Такимъ веществомъ для комнатныхъ лампъ служилъ каолинъ, а для уличныхъ алебастръ. Первый придаетъ свѣту вольтовой дуги фіолетовый, а второй розовый оттѣнокъ. Интенсивность послѣдняго уменьшалась примѣсью солей барія, а для цѣлей декоративнаго освѣщенія усиливалась солями стронція. При сгораніи углей образующаяся между ихъ концами дуга *n* накаливаетъ и испаряетъ изолировку. При направленіи тока, указанномъ на рисункѣ, отъ клеммы *A* въ клемму *B*, уголь *a* сгораетъ вдвое скорѣе угля *b*. Для равномѣрнаго сгоранія свѣчи нужно частое измѣненіе направленія тока. Источники такого перемѣннаго тока будутъ описаны ниже (ч. IV, гл. VI, § 7).

§ 5. Ртутная лампа. Для полученія непрерывной вольтовой дуги нѣтъ надобности непремѣнно въ угляхъ; она можетъ образовываться и при проводникахъ изъ другого вещества. *Уэй* въ 1860 г. наблюдалъ образованіе вольтовой дуги между ртутными электродами.


Рис. 209.

Аронъ въ 1892 г. предложилъ производить освѣщеніе вольтовой дугой, получающейся въ ртутныхъ парахъ, заключенныхъ въ безвоздушномъ пространствѣ. Идея такой лампы весьма проста. Стеклянный сосудъ (рис. 209) наполненъ до горизонтальнаго колѣна ртутью. Соединивъ электроды съ источниками тока, встряхиваютъ лампу, чтобы прикосновеніемъ столбиковъ ртути, наполняющей вертикальныя колѣна сосуда, на мгновеніе замкнуть токъ. Ртуть при прохожденіи тока нагрѣвается и частью испаряется. Пары ея заполняютъ горизонтальное колѣно и поддерживаютъ проводимость тока между столбиками жидкой ртути. Сами же они при этомъ раскаляются и даютъ дугу сине-зеленаго цвѣта. Лампа Арона пригодна для фотографированія: свѣтъ ея весьма актиниченъ. Отсутствіе въ свѣтѣ лампы красныхъ лучей дѣлаетъ ее непримѣнимой для обычнаго употребленія. Какъ и въ дугѣ, между углями наблюдается переносъ частичекъ вещества анода на катодъ. Ртуть убываетъ въ колѣнѣ, служащемъ анодомъ, а такъ какъ сгорать въ безвоздушномъ пространствѣ она не можетъ, то переносится токомъ въ другое колѣно лампы. Практически усовершенствована ртутная лампа въ 1905 г. *К. Юиттомъ*. Ей придана форма, изображенная на рисункѣ 210. Длинная стеклянная труб-

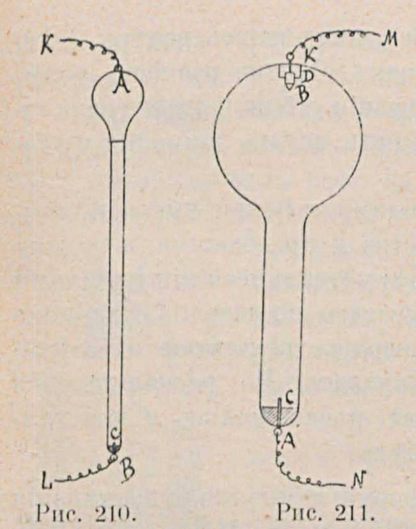


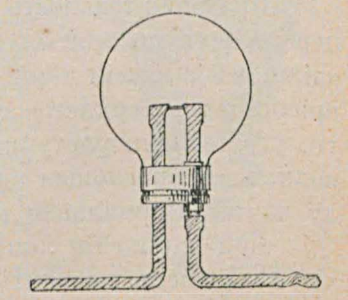
Рис. 210. Рис. 211.

ка оканчивается анодомъ *B*, погруженнымъ въ ртуть *C*, и грушевиднымъ металлическимъ катодомъ *A*. Если на моментъ опрокинуть лампу, то струя ртути обольетъ поверхность катода, замкнувъ токъ, который вызоветъ образованіе дуги по возвращеніи лампы въ прежнее положеніе. Другое видоизмѣненіе лампы (рис. 211) отличается лишь устройствомъ катода *B*, который представляетъ желѣзный стержень, впаянный въ стекло *D* и соединенный кольцомъ *K* съ проводникомъ *M*.

Продолжительность службы лампы около 1000 часовъ. *Кюхъ* замѣнилъ въ ртутной лампѣ стеклянный колпакъ кварцевымъ, что дало возможность повысить температуру безъ опасенія, что колпакъ расплавится. Повышеніе же температуры повело къ измѣненію непріятнаго оттѣнка свѣта лампы Юитта на болѣе бѣлый и сдѣлало ее экономнѣе. Лампы Кюха требуютъ около 0,3 уатта на свѣчу, но устраиваются не менѣе, какъ на 1000 свѣчей.

§ 6. Лампы накаливанія Ладыгина и Яблочкова. При накаливаніи проводниковъ проходящимъ по нимъ токомъ температура послѣднихъ можетъ достичь такой высоты, что проводники начинаютъ испускать свѣтъ (отъ 550° и до температуры бѣлаго каленія). При этомъ въ свѣтовую энергію будетъ трансформироваться лишь незначительный % тепловой (отъ 5 до 10%). Первое предложеніе воспользоваться этимъ явленіемъ въ цѣляхъ освѣщенія было сдѣлано въ 1838 г. *Жобаромъ*. Въ 1844 г. *де-Шанжи* построилъ лампу, въ которой раскаливался тонкій угольный стержень. За отсутствіемъ въ то время дешевыхъ источниковъ тока лампа эта въ практику не вошла. Такая же судьба постигла лампу *Г. Гепеля*, устроенную имъ въ 1855 г.

Использовать практически свѣтовую энергію раскаливаемаго электрическимъ токомъ проводника можно двумя путями или накаливая въ безвоздушномъ пространствѣ проводники, которые, будучи подвергнуты дѣйствію высокой температуры въ воздухѣ сгораютъ, или накаливая проводники, не окисляющіеся въ воздухѣ, и при высокой температурѣ. Оба метода впервые были практически разработаны, опять таки, русскими электротехниками: *А. Н. Ладыгинъ* въ 1874 г. далъ лампочку накаливанія, а *Яблочковъ* въ 1877 г. прообразъ современной лампы *Нернста*. Такъ какъ уголь легче накаливается, чѣмъ неокисляющіяся вещества въ лампочкахъ второго типа, и не требуетъ предварительнаго подогрѣванія, то освѣщеніе калильными лампочками съ безвоздушнымъ пространствомъ, не нуждающееся въ токѣ особенно высокаго напряженія, нашло распространеніе раньше, чѣмъ освѣщеніе накаливаніемъ не горючихъ проводниковъ.


Рис. 212.

Схематическій рис. 212 изображаетъ лампу Ладыгина. Сущность ея устройства видна изъ рисунка. Между концами толстой мѣдной проволоки укрѣплялся то-

ненькій коксовый стерженекъ и все приспособленіе заключалось внутрь стекляннаго колпака, изъ котораго воздухъ былъ выкачанъ. Однако разность коэффиціентовъ расширенія при нагрѣваніи мѣди и стекла вела къ тому, что воздухъ постепенно входилъ внутрь лампочки и уголекъ сгоралъ.

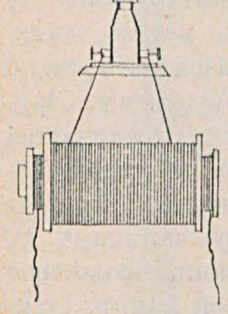


Рис. 213.

Яблочковъ, пользуясь проводимостью при высокой температурѣ глины, магнезіи, алебастра и пр., зажималъ плитку изъ указанныхъ веществъ (рис. 213) металлическими клеммами и пропускалъ черезъ нее токъ высокаго напряженія отъ трансформатора (ч. IV, гл. VI, § 9). Поверхность плитки охватывалась при этомъ искрами и накаливалась. По раскалившейся пластинкѣ токъ шелъ легко, искры прекращались и пластинка продолжала накаливаться до бѣла.

§ 7. **Лампа съ угольной нитью.** Современная форма лампочки накаливанія придана ей цѣлымъ рядомъ изобрѣтателей, какъ-то: *Сваномъ, Максимомъ, Эдисономъ* и друг. Она состоитъ изъ тонкостѣннаго стекляннаго колпачка (рис. 214) съ высокой степенью разрѣженія. Внутри колпачка помѣщена нить изъ обугленнаго бамбука, изогнутая въ различныя у каждаго конструктора кривыя и вплавленная въ стекло при помощи платиновыхъ электродовъ. (Коэф. расш. платины близокъ къ таковому же стекла). Колпачекъ гипсомъ укрѣпленъ въ латунномъ кольцѣ съ винтовой рѣзьбой, ввинчиваемой при установкѣ и перемѣнѣ лампочки въ патронъ, соединенный съ проводникомъ тока. Лампы готовятся различной силы, выражаемой числомъ свѣчей. Потребленіе энергіи около 3 уаттовъ на свѣчу, т. е. 1 лош. сила на 250—200 свѣчей. Чаще всего примѣняются въ практикѣ лампочки въ 16 и 32 свѣчи. Первыя, при 110 вольтахъ напряженія, требуютъ 0,5 амп. силы тока, вторыя, при томъ же напряженіи,—1 амперъ. Первыя лампы работали при 50 вольтахъ, такъ какъ нити ихъ были не настолько тонки, какъ въ настоящее время. Понятно, что, чѣмъ тоньше нить, тѣмъ больше ея сопротивленіе и тѣмъ на большее напряженіе, при той же силѣ тока, можетъ быть разсчитана лампа:

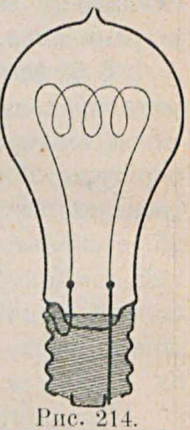


Рис. 214.

при $J=\text{const.}$ съ возрастаніемъ, въ формулѣ $J=\frac{e}{w}$, величины w растетъ и величина *e*.

Продолжительность горѣнія ихъ около 800 часовъ. Угольная нить, хотя и не перегораетъ въ безвоздушномъ пространствѣ, но съ теченіемъ времени подъ вліяніемъ высокой температуры уголь превращается частью въ графитъ, нить пріобрѣтаетъ зернистое строеніе и почти перестаетъ проводить токъ. Сверхъ того, уголь нити, улетучиваясь при температурѣ 1800°, осаждается на стѣнкахъ колпачка и, поглощая значительное количество свѣта, ослабляетъ свѣтовую силу лампы. Нормальная температура накаливанія угольной нити около 1000°.

При освѣщеніи лампочками накаливанія ихъ вводятъ въ цѣпь параллельно, что позволяетъ выводить каждую изъ нихъ изъ цѣпи независимо отъ другихъ.

Нѣсколько лѣтъ тому назадъ въ продажѣ появилась угольная лампа „*экономикалъ*“ съ переключателемъ. Въ общей стеклянной грушѣ помѣщаются двѣ

нити, одна на 16, а другая всего на одну свѣчу. По желанію можно включать въ цѣпь ту или другую нить и тѣмъ регулировать силу свѣта.

§ 8. Лампа Нернста. Черезъ 20 лѣтъ послѣ Яблочкова, въ 1897 г., *Нернстъ*, основываясь на томъ же принципѣ, на которомъ была устроена лампа Яблочкова, сконструировалъ свою лампу для накаливанія на воздухѣ. Накаливающееся вещество,—смѣсь Нернста, представляетъ окись магнія и нѣкоторыхъ рѣдкихъ металловъ. Будучи нагрѣта, она становится проводникомъ тока. Подогрѣваніе производится автоматически. Токъ, входящій въ анодъ контакта лампы *A* (рис. 215), развѣтвляется въ *B* на двѣ вѣтви. Вначалѣ онъ идетъ въ нагрѣватель *CD*, такъ какъ магнезіальная смѣсь, будучи холодной, оказываетъ значительное сопротивленіе. Нагрѣватель представляетъ тонкую платиновую проволоку, спирально охватывающую фарфоровый цилиндрикъ. Изъ нагрѣвателя токъ идетъ въ контактъ *E* и оттуда въ катодъ *F*. Тонкая платиновая проволока тотчасъ при этомъ раскаливается и нагрѣваетъ смѣсь *GH*. Послѣдняя, ставъ проводникомъ, открываетъ току путь черезъ себя въ катодъ *F*. Отвѣтвленіе же въ нагрѣватель автоматически замыкается, такъ какъ токъ на своемъ пути намагничиваетъ электромагнитъ *M*, притягивающій къ себѣ контактъ *E*, и тѣмъ замыкаетъ первую вѣтвь. Температура накаливанія лампы Нернста достигаетъ 2400°. Продолжительность горѣнія всего около 400 часовъ, но отработавшая лампа не нуждается въ полной замѣнѣ, и требуетъ лишь перемѣны палочки магнезіальной смѣси. Потребленіе энергіи отъ 1,6 до 2 уаттовъ на свѣчу. Лампы Нернста нашли примѣненіе и для освѣщенія городовъ; такъ, въ 1904 г. ими стала освѣщаться Пермь. Ими же замѣняютъ съ успѣхомъ вольтову дугу въ проекціонныхъ фонаряхъ и кинематографическихъ аппаратахъ.

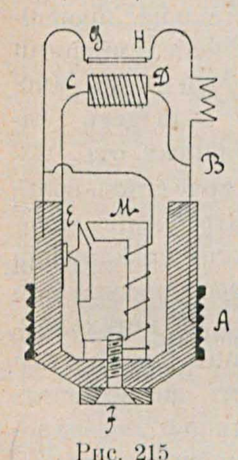


Рис. 215

§ 9. Лампы съ металлическими нитями. Впервые лампа накаливанія съ металлической нитью была устроена еще въ 1802 году *Г. Дэви*. Она, какъ и позднѣйшія ея видоизмѣненія, не исключая лампы Эдисона (1880 г.), не вошла въ практику и только съ начала текущаго вѣка вошли въ употребленіе лампы накаливанія, въ которыхъ угольная нить замѣнена нитями изъ рѣдкихъ металловъ, не окисляющихся на воздухѣ даже при температурѣ бѣлаго каленія. Таковы: лампа *Ауэра фонъ-Вельсбаха* съ осміевой [1]) нитью (1903 г.), *Больтона* и *Фейерлейна* съ нитью изъ тантала [2]) (1905 г.) и, наконецъ, изобрѣтенныя лишь въ 1907 г. лампы съ вольфрамовыми [3]) и молибденовыми [4]) нитями и усовершенствованная лампа Ауэра такъ назыв. осрамъ-лампа, нить которой состоитъ изъ сплава осмія съ вольфрамомъ. Спра-

Рис. 216.

[1]) *Осмій*—рѣдкій металлъ, спутникъ платины. Находится въ VIII періодѣ и 10 гориз. ряду таблицы Менделѣева. Ат. вѣсъ 191.

[2]) *Танталъ*—элементъ V періода, того же ряда. Ат. вѣсъ 183.

[3]) *Вольфрамъ*—въ VI періодѣ, того же ряда. Ат. вѣсъ 184.

[4]) *Молибденъ*—въ томъ же періодѣ, какъ вольфрамъ, но въ 6 гориз. рядѣ. Ат. в. 96.

ведливость требуетъ однако отмѣтить, что на возможность примѣнять для волосковъ лампъ вольфрамъ впервые указалъ Ладыгинъ въ 1889 году. Танталовая лампа, являющаяся въ настоящее время наиболѣе распространенной, представлена на рис. 216. Тонкая металлическая нить много разъ перекинута черезъ крючки, впаянные въ особую стеклянную подставку. Точка плавленія тантала выше 2000°, что позволяетъ нагрѣвать его сильнѣе, чѣмъ уголь, т. е. получать болѣе яркій свѣтъ. Сила свѣта увеличивается приблизительно пропорціонально пятой степени возрастанія температуры, такъ что увеличеніе температуры каленія съ 1000 до 2000° вызываетъ усиленіе яркости свѣта почти въ 30 разъ.

Танталовая лампа расходуетъ около 1,7 уатта на свѣчу, не обладаетъ характернымъ для лампы съ угольной нитью „миганьемъ", зависящимъ отъ измѣненія проводимости, и горитъ дольше (до 1000 часовъ). Еще ярче свѣтъ вольфрамовой лампы, такъ какъ вольфрамъ плавится при 3200°. Потребленіе энергіи этой лампой наименьшее по сравненію съ другими лампами накаливанія (около 1,2 уатта), а продолжительность горѣнія достигаетъ до 4000 часовъ, что дѣлаетъ ее весьма экономичной. Общимъ достоинствомъ лампъ съ металлическими нитями является ихъ способность къ саморегулированію вслѣдствіе уменьшенія проводимости при увеличеніи накаливанія. Общимъ же недостаткомъ всѣхъ калильныхъ лампъ является незначительность свѣтящей поверхности и рѣзкій, вредный для глазъ свѣтъ, который приходится смягчать матовыми колпачками или абажурами.

Въ 1911 г. *Дюссо* предложилъ особый способъ освѣщенія маловольтными (т. е. нормально горящими при маломъ напряженіи), металлическими лампами, перекаливая ихъ токомъ повышеннаго напряженія въ теченіе весьма короткаго времени. При пропусканіи тока въ 15 в. черезъ лампочку, разсчитанную на 4 вольта, она вмѣсто 2 свѣчей даетъ около 1000. Пропускаютъ токъ $^1/_{15}$—$^1/_{20}$ долю секунды, съ перерывами, пользуясь свойствомъ глаза сохранять въ теченіе $^1/_7$ доли секунды воспринятое свѣтовое ощущеніе.

Въ цѣляхъ перемѣннаго тока можно для уменьшенія расхода энергіи— пользоваться трансформаторами, понижающими вольтажъ цѣпи (см. ч. IV, гл. II, § 1), такъ назыв. *редукторами*, устанавливаемыми между проводомъ и лампой.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда сила свѣта лампъ ослабѣваетъ, для рѣшенія вопроса, является ли это слѣдствіемъ увеличенія сопротивленія въ самой лампѣ, или зависитъ отъ недостатка вольтажа или ампеража въ цѣпи, лампочку вывинчиваютъ и на мѣсто ея вводятъ послѣдовательно вольтметръ, амперметръ и соотвѣтствующее лампочкѣ сопротивленіе.

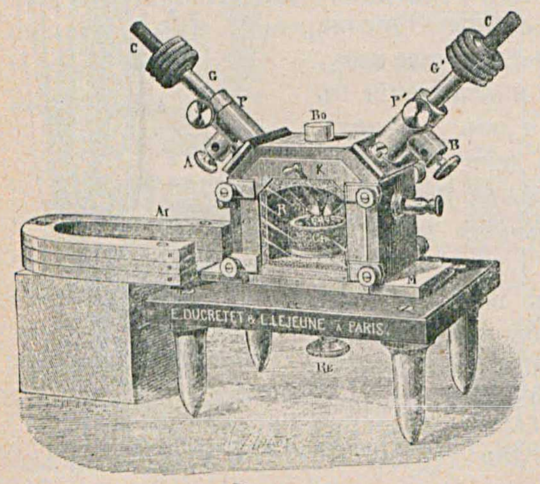
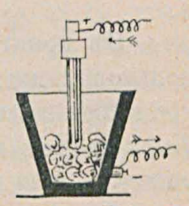


Рис. 217.

§ 10. Электрическая сварка, плавка и паяніе металловъ. Для использованія высокой температуры вольтовой дуги *Г. Муасонъ* (1892 г.) устроилъ печь, названную его именемъ (рис. 217). Она состоитъ изъ очага въ известковой обо-

лочкѣ, въ которомъ помѣщенъ графитовый тигель; B^o—отверстіе для загрузки тигля, G и G_1—угли, A и B—клеммы для соединенія ихъ съ источникомъ тока. Угольные электроды направлены внутрь тигля, такъ что образующаяся между ними вольтова дуга охватываетъ его содержимое, подымая температуру послѣдняго выше 3000°. До указаннаго приспособленія, позволяющаго, напримѣръ, плавить хромъ (3000°), предѣломъ искусственно достигаемыхъ температуръ была температура горѣнія водорода въ кислородѣ—1900°.

Въ частности, для плавки стали еще въ 1880 г. *Сименсъ* предложилъ пользоваться графитовымъ тиглемъ, служащимъ катодомъ (рис. 218). Твердый металлъ закладывается въ тигель и надъ нимъ располагаютъ угольный стержень—анодъ. При пропусканіи тока между стержнемъ и тиглемъ возникаетъ вольтова дуга, плавящая сталь. Съ 1900 г. *Стессано* и *Геру* выработали технически примѣнимыя конструкціи заводскихъ печей для той же цѣли.


Рис. 218.

Для *свариванія* металлическихъ частей, по предложенію *Э. Томсона,* ихъ сжимаютъ предназначенными къ сваркѣ поверхностями и пропускаютъ черезъ нихъ сильный токъ (1—2000 амп.). Поверхности раскаливаются и свариваются.

Паяніе при помощи электричества было впервые примѣнено (1881 г.) русскимъ изобрѣтателемъ *Н. Н. Бенардосомъ.* Металлическій предметъ, нуждающійся въ спаиваніи, соединяется съ однимъ изъ электродовъ сильнаго источника тока, другой же электродъ, оканчивающійся угольнымъ стержнемъ, исполняетъ роль паяльника. При приближеніи стержня къ мѣсту спайки между нимъ и металломъ возникаетъ вольтова дуга, расплавляющая припой.

Во избѣжаніе вреднаго дѣйствія неравномѣрнаго расширенія отъ нагрѣванія свариваемыхъ поверхностей предметы, подвергаемые сваркѣ, предварительно накаливаются до слабо-краснаго каленія.

Н. Г. Славяновъ предложилъ производить свариваніе, заполненіе пустотъ, раковинъ и выбоинъ помощью металлическаго стержня, соединеннаго съ однимъ изъ электродовъ, тогда какъ обрабатываемый предметъ соединяется съ другимъ полюсомъ. Стержень при этомъ плавится и заполняетъ пустоту или промежутокъ между свариваемыми предметами.

§ 11. Синтезъ соединеній при посредствѣ вольтовой дуги. *М. Бертело* въ 1857 г. синтезировалъ углеводородъ *ацетиленъ*, возбуждая вольтову дугу между угольными стержнями C и C_1, заключенными въ баллонѣ O (рис. 219). Баллонъ наполнялся водородомъ, осушеннымъ въ склянкахъ A и B крѣпкой сѣрной кислотой. Получавшійся при этомъ ацетиленъ—C_2H_2 проходилъ черезъ контрольныя склянки D и E, соединяясь въ нихъ съ реактивомъ, обнаруживающимъ его присутствіе.

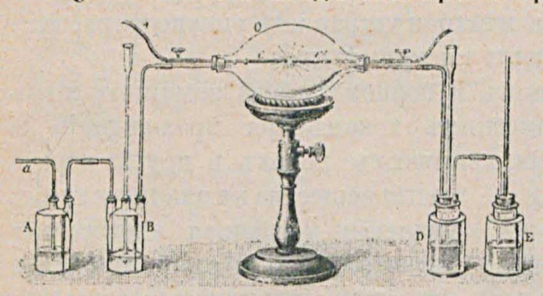


Рис. 219.

Соединеніе кальція съ углеродомъ,—карбидъ кальція, служащій для полученія ацетилена въ большихъ количествахъ, также получается путемъ электри-

ческаго накаливанія. Способъ данъ *Борисомъ* въ 1891 г., а практически разработанъ въ 1892 г. *Вильсономъ*. Угольные электроды погружаются въ смѣсь известняка или негашенной извести съ коксомъ. Высокое сопротивленіе смѣси вызываетъ ея накаливаніе и реакцію, выражаемую уравненіемъ:

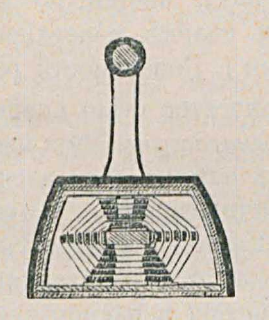
$$CaO+3C=CaC_2+CO.$$

Подобнымъ же путемъ готовятъ карборундъ или карбитъ кремнія изъ смѣси кварцеваго песка и кокса при температурѣ около 3500:

$$SiO_2+3C=SiC+2CO.$$

Въ практическомъ отношеніи въ особенности важно полученіе при помощи вольтовой дуги въ спеціально сконструированной печи окисловъ азота непосредственнымъ сожженіемъ азота воздуха его кислородомъ. Эта задача рѣшена *Биркландомъ* и *Эйде* и въ послѣдніе годы по ихъ способу устроено нѣсколько заводовъ для полученія искусственныхъ азотистыхъ удобреній. Въ дальнѣйшемъ способъ разработанъ *Франкомъ, Каро* и др.

§ 12. Электрическое отопленіе. Для быстраго нагрѣванія предметовъ [электрическія печи, утюги, (рис. 220) конфорки и пр.] вплавляютъ внутрь плохого проводника тепла (стекло, азбестъ, фарфоръ) весьма тонкій платиновый листокъ (0,001—0,01 мм.), имѣющій болѣе или менѣе значительную поверхность. При пропусканіи тока листокъ мгновенно раскаливается и передаетъ тепло окружающему плохому проводнику, являющемуся аккумуляторомъ тепла. Преимущество пользованія токомъ для указанной цѣли заключается въ быстротѣ возникновенія и высотѣ температуры источника тепла.



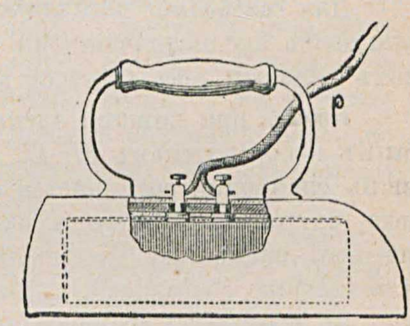


Рис. 220.

§ 13. Гальванокаустика. Для нѣкоторыхъ операцій (срѣзываніе опухолей, уничтоженіе волосяныхъ луковицъ и пр.) врачи замѣняютъ хирургическіе инструменты тонкой платиновой проволочкой, раскаливающейся при пропусканіи тока. Раскаленная платиновая проволока не только замѣняетъ рѣжущее орудіе, но одновременно прижигаетъ оперируемое мѣсто и устраняетъ опасность зараженія, сопутствующую оперированію холодными инструментами.

§ 14. Электрическіе запалы. Въ военномъ и горномъ дѣлѣ помощью высокой температуры, развиваемой гальваническимъ токомъ при прохожденіи по проводникамъ значительнаго сопротивленія, взрываютъ порохъ и другія взрывчатыя вещества на значительномъ удаленіи, устраивая электрическіе запалы. Для этого погружаютъ внутрь взрывчатаго вещества тонкую металлическую проволоку, соединенную съ изолированными проводниками. Замыкая идущій по проводнику токъ, взры-

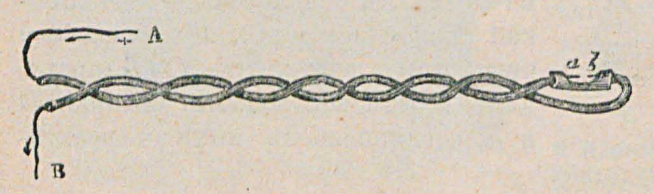


Рис. 221.

ваютъ зарядъ, хотя бы онъ былъ зарытъ въ землю или опущенъ въ воду. Впервые такіе запалы предложены были нашимъ соотечественникомъ *Шиллинымъ* въ 1812 г.

Рис. 221 изображаетъ запалъ *Статгема*. Въ немъ, на близкомъ разстояніи другъ отъ друга закрѣплены концы проводниковъ a и b. Проводники по всему остальному своему протяженію тщательно изолированы и соединены съ анодомъ A и катодомъ B источника тока.

§ **15. Легкоплавкіе предохранители.** При прохожденіи черезъ проводъ тока большей силы, чѣмъ та, на которую онъ разсчитанъ (§ 3, гл. XIII), онъ можетъ нагрѣться до слишкомъ высокой температуры, вызывающей порчу изолировки и иногда даже являющейся причиной пожара. Нити лампъ накаливанія при усиленіи тока выше нормальнаго предѣла перегораютъ. Для предохраненія проводовъ отъ случайно вступившаго въ сѣть провода большой мощности включаютъ въ установку легкоплавкіе предохранители. Простѣйшее устройство такого предохранителя изображено на рис. 222.

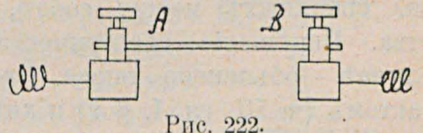


Рис. 222.

Онъ состоитъ изъ стерженька AB, матеріаломъ котораго служитъ легкоплавкій сплавъ (обыкновенно сплавъ свинца и олова). Сѣченіе стерженька берется съ такимъ разсчетомъ, чтобы при увеличеніи тока выше безопаснаго максимума предохранитель расплавился и тѣмъ прервалъ автоматически цѣпь. Предохранители называются однополюсными, если введены лишь въ одномъ направленіи тока, напр., въ проводъ, идущій отъ динамо, и двуполюсными, когда включены и въ обратный проводъ или въ земляной отводъ. Для лампъ накаливанія дѣлаютъ пробковые предохранители, въ которыхъ при токѣ, могущемъ пережечь ламповую нить, плавится свинцовая проволока. Если предохранительная проволока впаяна въ ламповый стаканъ, то она автоматически выключаетъ лампу изъ цѣпи; если предохранитель поставленъ въ началѣ проводовъ, то при плавкѣ его выключается вся установка.

§ **16. Короткое замыканіе.** Уменьшеніе сопротивленія цѣпи, вызывающее прохожденіе по ней большаго количества электричества, чѣмъ то, на которое разсчитаны провода, нерѣдко является слѣдствіемъ такъ назыв. короткаго замыканія въ цѣпи. Положимъ, что рис. 223 изображаетъ освѣтительную установку, въ которой D—динамо, P_1 и P_2 прямой и обратный проводъ, E разность потенціаловъ у борновъ динамо, а Z_1, Z_2, Z_3—лампочки накаливанія.

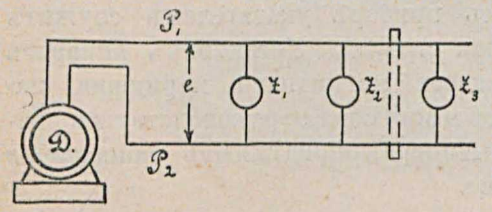


Рис. 223.

Если неизолированные провода коснутся къ хорошему проводнику тока, напр., придутъ въ соприкосновеніе съ желѣзной полосой, изображенной на нашемъ рисункѣ пунктиромъ, то токъ, минуя лампы накаливанія, пойдетъ по полосѣ, а такъ какъ ея сопротивленіе ничтожно, по сравненію съ сопротивленіемъ лампъ, то количество тока (согласно закону Ома) будетъ весьма велико по отношенію къ нормально текущему по проводамъ, и послѣдніе могутъ перегорѣть. Короткое замыканіе можетъ произойти и въ самомъ источникѣ тока, когда въ батареяхъ соприкоснутся разноимен-

ные электроды или соединятся другъ съ другомъ хорошимъ проводникомъ, если въ динамо произойдетъ соединеніе между обмотками якоря, между обмоткой и станиной машины и пр. Прикосновеніе человѣка къ обоимъ проводамъ или къ проводу и землѣ (для токовъ высокаго напряженія) вызываетъ короткое замыканіе черезъ тѣло, могущее быть смертельнымъ.

XV. Термоэлектричество.

§ 1. **Возникновеніе гальваническаго тока при нагрѣваніи.** Мы уже ознакомились съ переходомъ механической энергіи и энергіи химическаго сродства въ электрическую и обратно.

Образованіе тока въ проводникѣ, спаянномъ изъ двухъ различныхъ металловъ, при нагрѣваніи мѣста спая было впервые замѣчено въ 1801 г. *Риттеромъ.* Его открытіе обыкновенно приписываютъ *Зеебеку*, который въ 1822 г. показалъ, что нагрѣваніе двухъ различныхъ проводниковъ перваго класса, спаянныхъ между собою, возбуждаетъ въ нихъ теченіе электричества. Нарушеніе электрическаго равновѣсія можетъ быть и въ этомъ случаѣ объяснено также, какъ возбужденіе электричества треніемъ, контактомъ (ч. III, гл. I, § 2) и химическимъ реагированіемъ тѣлъ, т. е. взаимодѣйствіемъ мельчайшихъ матеріаловъ частицъ вещества, быть можетъ, всегда несущихъ опредѣленный электрическій зарядъ.

Рис. 224.

Нагрѣвая въ мѣстѣ спая пластинку изъ сурьмы и висмута (рис. 224), противоположные концы которой соединены проводниками съ гальванометромъ, замѣчаютъ отклоненіе указателя послѣдняго. Сурьма при этомъ электризуется положительно, висмутъ отрицательно. Получающійся токъ носитъ названіе *термотока*, а производящая его пара—*термоэлементомъ.* Обнаружить присутствіе тока и его направленіе можно также при помощи прибора, изображеннаго на рис. 225. Въ этомъ приборѣ указателемъ служитъ магнитная стрѣлка. Установивъ аппаратъ въ плоскости магнитнаго меридіана, нагрѣваютъ мѣсто спая и, руководствуясь правиломъ Ампера, опредѣляютъ направленіе тока по отклоненію стрѣлки вправо или влѣво.

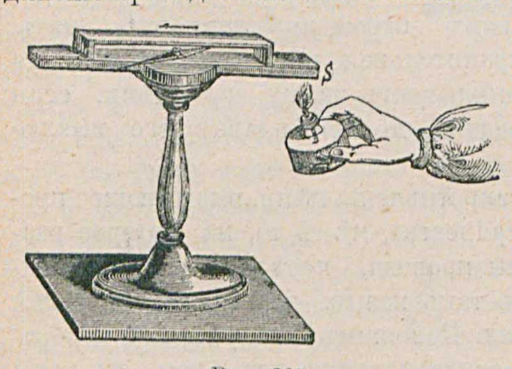


Рис. 225.

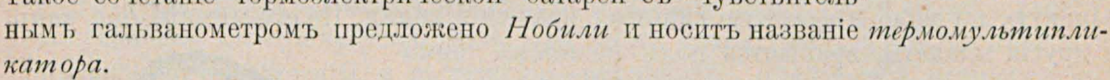
§ 2. **Законъ Зеебека и термическій рядъ.** Интересно, что не только нагрѣваніе, но и охлажденіе мѣста спая вызываетъ появленіе тока. Въ послѣднемъ случаѣ направленіе термотока мѣняется: онъ идетъ отъ висмута въ сурьмѣ. Тоже самое явленіе происходитъ и при переходѣ нѣкотораго предѣла нагрѣванія: какъ и при охлажденіи, направленіе тока въ термоэлементѣ мѣняется.

Формулируя результаты наблюденій, находимъ законъ: *нагрѣваніе мѣста спая двухъ различныхъ металловъ возбуждаетъ термотокъ въ опредѣленномъ направленіи. При превышеніи предѣла нагрѣванія или охлажденіи спая возникаетъ токъ въ обратномъ направленіи.*

Электродвижущая сила термотока весьма незначительна. Такъ, для пары висмутъ—сурьма она не превышаетъ 0,007 вольтъ на каждый градусъ повышенія температуры. Обычно ее измѣряютъ милліонными долями вольта,—*микровольтами*, $=10^{-6}$ в. Подобно ряду Вольты и здѣсь можно составить рядъ тѣлъ, заряжающихся положительно въ спаѣ съ послѣдующимъ и отрицательно съ предыдущимъ членомъ ряда. Рядъ этотъ таковъ: *селенъ*, *теллуръ*, *сурьма*, *желѣзо*, *золото*, *мѣдь*, *магній*, *цинкъ*, *серебро*, *свинецъ*, *платина*, *алюминій*, *никкель* и *висмутъ*. По болѣе новымъ наблюденіямъ (*Бильби* 1904 г.) термотокъ получается также при соединеніи различно обработанныхъ проволокъ изъ одного и того же металла. Такъ, изъ двухъ серебряныхъ стержней, одинъ изъ которыхъ сильно прокатанъ, составляется термоэлементъ съ эл.-движ. силой—0,17 микровольтъ на 1°.

§ **3. Термомультипликаторъ**. Послѣдовательное соединеніе большого числа элементовъ въ батарею даетъ т. н. *термоэлектрическій столбъ* (рис. 226). Первыя батареи были устроены въ 1823 г. *Эрстедтомъ* и *Фурье*. Столбикъ изъ 100 сурьмяно-висмутовыхъ паръ отклоняетъ стрѣлку соединеннаго съ нимъ чувствительнаго гальванометра уже при разности въ 0,0001° C. Такое сочетаніе термоэлектрической батареи съ чувствительнымъ гальванометромъ предложено *Нобили* и носитъ названіе *термомультипликатора*.

Рис. 226.



Другое измѣненіе термобатареи, нагрѣваемой газомъ, изображено на рис. 227. Въ 1909 г. *Кейль* взялъ патентъ на термобатарею, названную имъ *динафоромъ* и предназначенную утилизировать солнечную энергію для заряженія аккумуляторовъ.

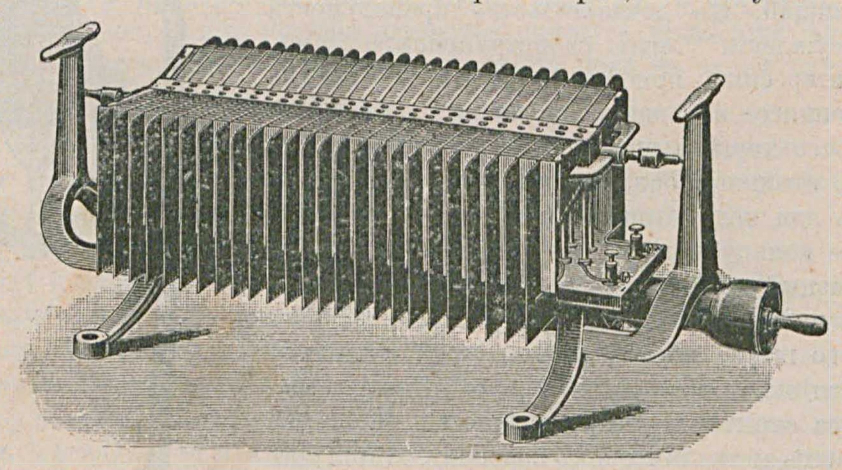


Рис. 227.

§ **4. Явленіе Пелтье**. Подобно тому какъ при электролизѣ токомъ выдѣленныя вещества вновь соединяются, давая токъ обратнаго направленія,—поляризованный токъ (ч. III, гл. VI, § 7), такъ и термоэлектрическій токъ можетъ возникать при дѣйствіи гальваническаго тока, проходящаго черезъ разнородный проводникъ. *Пелтье* въ 1834 г. замѣтилъ, что *при пропусканіи* внѣшняго тока черезъ цѣпь, составленную изъ спаянныхъ стержней висмута и сурьмы (рис. 228),

мѣсто спая охлаждается или нагрѣвается. Повышеніе температуры обнаруживается при пропусканіи тока отъ сурьмы къ висмуту, охлажденіе при обратномъ направленіи внѣшняго тока. Прекращая внѣшній токъ, можно обнаружить гальванометромъ появленіе въ цѣпи термотока, причиной котораго является нагрѣваніе или охлажденіе, произведенное въ мѣстѣ спая прямымъ токомъ. Проводники при этомъ надо брать большого сѣченія, чтобы удачѣ опыта не мѣшало нагрѣваніе, зависящее отъ сопротивленія проводниковъ.

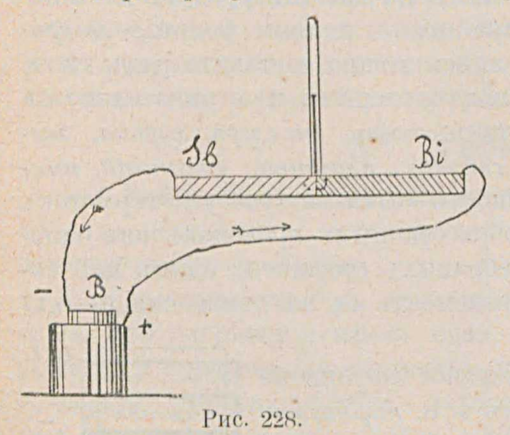
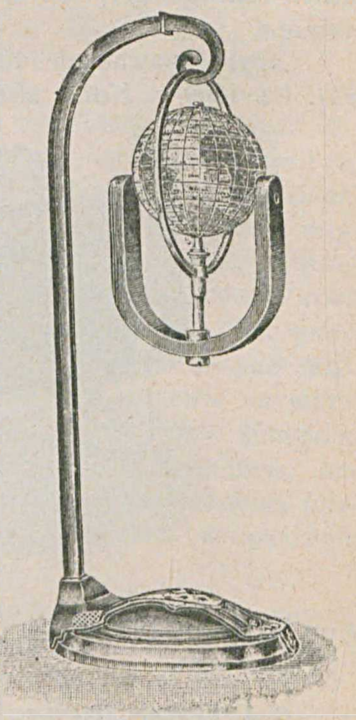


Рис. 228.

Ленцъ для болѣе эффектнаго демонстрированія явленія Пелтье, сдѣлавъ въ мѣстѣ спая сурьмы съ висмутомъ углубленіе, налилъ въ него воды и, охладивъ ее и стержень до 0°, пропускалъ черезъ стержень токъ отъ элемента Даніэля. Черезъ нѣсколько минутъ вода въ углубленіи замерзала и погруженный въ нее предварительно термометръ указывалъ—3,5° С.

§ 5. **Вращающійся глобусъ Лотца**. Инженеръ *А. Лотцъ* предложилъ оригинальную, но мало вѣроятную гипотезу вращенія земли. По его мнѣнію, она, какъ и другія планеты, вращается подъ вліяніемъ термотоковъ, развивающихся внутри ея благодаря разности нагрѣваній освѣщеннаго и неосвѣщеннаго солнцемъ полушарій. Въ доказательство правильности своихъ разсужденій Лотцъ сконструировалъ замѣчательно интересный приборъ (рис. 229), состоящій изъ внутренняго неподвижнаго шара и полаго облегающаго его другого шара, свободно вращающагося на вертикальной оси, укрѣпленной въ кольцѣ, служащемъ для подвѣшиванія прибора на штативѣ. Къ тому же кольцу прикрѣпленъ довольно сильный подковообразный магнитъ. Силовыя линіи поля этого магнита проходятъ черезъ нашу маленькую модель земного шара, пересѣкая его приблизительно по плоскости экваторіальнаго сѣченія. Внутри шарика глобуса скрыта термоэлектрическая батарейка изъ спаянныхъ металлическихъ полосокъ. Мѣста спаевъ находятся подъ внутренней поверхностью шара, приблизительно на 45-й параллели глобуса, а противоположные концы направлены къ центру шара. При освѣщеніи глобуса лампой или свѣчей въ мѣстахъ спая термоэлементовъ возникаетъ токъ, подъ дѣйствіемъ котораго наружная желѣзная сферическая оболочка приходитъ въ движеніе по направленію отъ сѣвернаго полюса магнита къ южному. Движеніе глобуса не прекращается все время, пока онъ освѣщенъ лампой или свѣчею. Глобусъ вращается по направленію часовой стрѣлки (если смотрѣть на приборъ


Рис. 229.

сверху) довольно медленно и совершенно равномѣрно, что ясно доказываетъ, что вращеніе происходитъ именно въ результатѣ взаимодѣйствія тока и магнитнаго поля.

§ 6. **Пироэлектричество.** Еще въ 1707 г. *Даумъ* замѣтилъ, что привезенный имъ съ о. Цейлона кристаллъ *турмалина*, положенный въ горячую золу, сначала притягиваетъ, а затѣмъ отталкиваетъ таковую. *Эпинусъ* (1762 г.) объяснилъ это электризаціей кристалла и обнаружилъ разноименность его заряда на противоположныхъ концахъ. *Кантонъ* (1759 г.) нашелъ, что такая электризація зависитъ отъ измѣненія температуры и что пониженію температуры соотвѣтствуетъ перемѣна знаковъ заряда на концахъ кристалла. Онъ же обнаружилъ аналогичное явленіе и въ кристаллахъ другихъ веществъ. Явленіе названо *пироэлектричествомъ*, а прямыя, соединяющія полюсы кристалла, *электрическими осями*. Въ 1889 г. *Коленко* указалъ, что кварцъ имѣетъ три такихъ оси и, слѣдовательно, шесть пироэлектрическихъ полюсовъ. Лордъ *Кельвинъ (В. Томсонъ)* въ 1878 г. объяснилъ явленіе пироэлектризаціи тѣмъ, что частицы кристалловъ всегда наэлектризованы разноименно (аналогія съ магнитной гипотезой Ампера), при чемъ измѣненіе температуры нарушаетъ это равновѣсіе.

§ 7. **Пьезоэлектричество.** Впервые *Гаюи*, въ 1817 г., а позднѣе (1880 г.) супруги *Кюри* обнаружили электризацію кристалловъ при сдавливаніи и растягиваніи по направленію электрическихъ осей. При этомъ сдавливаніе кристалла дѣйствуетъ аналогично охлажденію, а растяженіе—нагрѣванію. Количества разноименныхъ электричествъ, появляющихся на концахъ кристалловъ, не зависятъ отъ длины кристалловъ, а пропорціональны площади давленія и величинѣ послѣдняго. *В. Рентгенъ* обнаружилъ явленіе пьезоэлектричества также при крученіи кристалловъ. Общепризнанной теоріи этого явленія пока не существуетъ.

§ 8. **Фотоэлектричество.** Въ 1839 г. *Беккерель* обнаружилъ появленіе тока при освѣщеніи одной изъ двухъ пластинокъ металла, погруженныхъ въ подкисленную воду. Явленіе это было изслѣдовано впослѣдствіи *Н. Егоровымъ и Минтиномъ*, но законы его остались не вполнѣ выясненными.

Флемингъ сконструировалъ фотоэлементъ, состоящій изъ платиноваго электрода и электрода изъ твердаго сплава ртути, калія и натрія, заключенныхъ въ стеклянную трубку, воздухъ внутри которой доведенъ до значительной степени разрѣженія. Отъ электродовъ черезъ стекло выходятъ наружу платиновыя проволочки. Практическаго значенія этотъ приборъ для превращенія свѣтовой энергіи въ электрическую имѣть не можетъ, такъ какъ при электродвижущей силѣ въ 0,5 вольта онъ имѣетъ 75000 омовъ внутренняго сопротивленія.

Нѣкоторымъ усовершенствованіемъ такого фотоэлемента является фотоаккумуляторъ, основанный на химическомъ дѣйствіи ультрафіолетовыхъ лучей на растворы хлористаго желѣза ($FeCl_2$) и сулемы ($HgCl_2$), которыя подъ дѣйствіемъ этихъ лучей переходятъ въ хлорное желѣзо ($FeCl_3$) и каломель ($HgCl$). Въ темнотѣ реакція идетъ въ обратную сторону, сопровождаясь выдѣленіемъ поглощенной энергіи въ видѣ электрическаго тока, имѣющаго электродвижущую силу отъ 30 до 90 милливольтъ.

§ 9. **Животное электричество.** Еще у *Аристотеля* и *Плинія* есть указанія, что скатъ (Torpedo,—рис. 230) можетъ наносить сильный ударъ, дѣйствую-

щій особеннымъ образомъ на живыя существа. Въ 1772 году *Д. Уэльсъ* открылъ въ этой рыбѣ особый органъ, представляющій какъ бы естественный конденсаторъ статическаго заряда. Такимъ образомъ нѣкоторые организмы способны конденсировать и аккумулировать возникающую въ нихъ электрическую энергію. Вѣроятно, электрическая энергія въ нихъ возникаетъ при химическихъ процессахъ жизни, и они пользуются ею для защиты отъ враговъ. Какъ уже было упомянуто (§ 1, гл. I), въ 1875 г. *Дю-Буа-Реймондъ* обнаружилъ, что мускулы и нервы только что убитаго животнаго имѣютъ противоположные электрическіе заряды. Надо думать, что способность организмовъ производить электрическую энергію является болѣе общей, чѣмъ это предполагали раньше. Явленія фосфоресценціи живыхъ организмовъ, свѣченіе насѣкомыхъ, океанскихъ рыбъ и моллюсковъ, бактерій и пр. тоже имѣютъ своей причиной электрическую энергію. По мнѣнію *Мэтьюза* (1910 г.), процессы передачи нервами ощущеній основаны на прохожденіи по нервамъ тока. На такую же мысль наводитъ подтвержденное опытомъ, благодѣтельное вліяніе на нервную систему электротерапіи. Къ сожалѣнію, до сихъ поръ явленія животнаго электричества изучены весьма слабо и примѣненія электричества въ терапіи носитъ чисто эмпирическій характеръ.

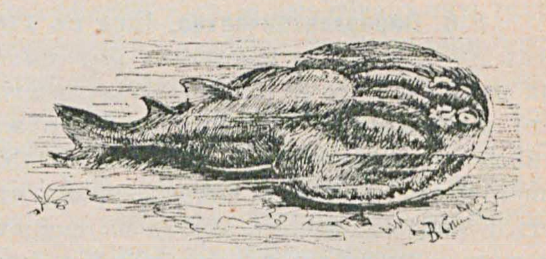
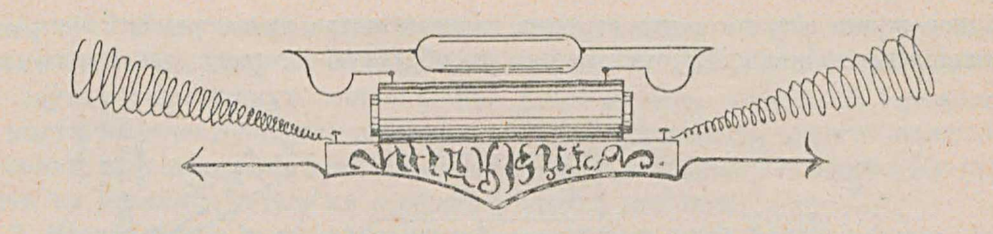


Рис. 230.

Часть IV.

ИНДУКЦІЯ.



I. Индукція.

§ **1. Индуктивный токъ.** Мы уже видѣли, что введеніе въ магнитное поле желѣза или стали возбуждаетъ въ нихъ магнитизмъ (ч. I, гл. III, § 1).

Знакомясь съ статическимъ состояніемъ электричества (ч. II, гл. III, § 2), мы также встрѣтились съ фактомъ электризаціи кондуктора однимъ вліяніемъ находящагося вблизи наэлектризованнаго тѣла, не соединеннаго проводникомъ съ индуктируемымъ кондукторомъ. Наконецъ, изучая законы движенія электричества, мы нашли, что перемѣщеніе электричества по проводнику (гальваническій токъ) сопровождается возникновеніемъ вокругъ проводника гальваническаго силового поля, вліяющаго на магнитъ и возбуждающаго магнитизмъ въ желѣзѣ и стали, введенныхъ въ поле (ч. III, гл. IV, § 1).

Теперь намъ предстоитъ ознакомиться съ условіями возбужденія электрическаго тока въ проводникѣ, введенномъ въ силовое поле магнита или тока. Только по ознакомленіи съ явленіями индуктивныхъ токовъ можно будетъ выяснить современный взглядъ на электричество. Явленія индукціи были впервые изучены и объяснены еще *Фарадеемъ* (1831 г.), но протекло болѣе полувѣка, прежде чѣмъ непосредственный опытъ подтвердилъ правильность взглядовъ геніальнаго электрика.

На основаніи изученнаго раньше мы можемъ увѣренно сказать, что электричество—это одинъ изъ видовъ энергіи, легко переходящій въ другіе ея виды и легко изъ нихъ возникающій. Напомнимъ, что всѣ извѣстные намъ виды энергіи суть результаты движенія: теплота—движенія молекулъ, химическая энергія—атомовъ, звукъ—матеріальныхъ частицъ упругой среды, свѣтъ—волнообразнаго колебанія мірового эфира. Наполняющій пространство между отдѣльными мірами и между атомами молекулъ эфиръ служитъ средой для распространенія свѣта, какъ воздухъ и другія упругія матеріальныя средины служатъ распространителями волнъ звука. Какая же среда является носителемъ электрической энергіи; результатомъ какого движенія будетъ эта послѣдняя? На эти-то вопросы и дало отвѣтъ изученіе индуктивныхъ токовъ и къ рѣшенію именно этихъ задачъ мы и ведемъ теперь читателя.

§ **2. Полученіе индуктивныхъ токовъ.** Пересѣкая силовое поле, образующееся вокругъ магнита, электромагнита или гальваническаго тока въ направленіи, нормальномъ къ силовымъ линіямъ, проводникомъ *AB* (рис. 231), замѣчаютъ по отклоненію стрѣлки гальванометра *G*, что въ движущемся проводникѣ, въ свою очередь, возникаетъ электрическій токъ.

Прекращеніе движенія проводника влечетъ за собой прекращеніе тока; движеніе въ обратную сторону вызываетъ и токъ въ обратномъ направленіи. По-

слѣднее видно изъ того, что стрѣлка гальванометра при перемѣнѣ направленія движенія проводника AB отклоняется въ обратную сторону отъ своего перво-

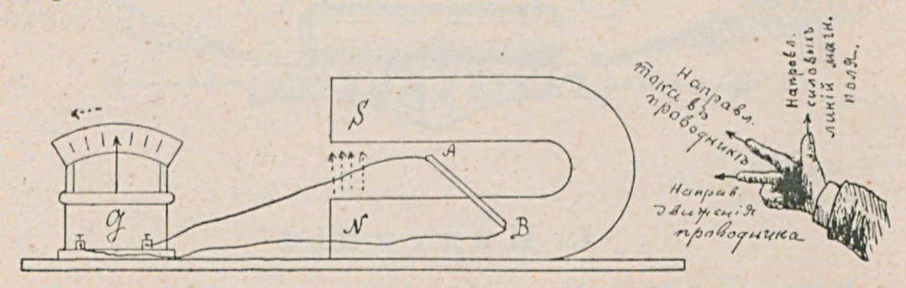


Рис. 231.

начальнаго отклоненія. Если сдѣлать проводникъ неподвижнымъ, а мѣнять напряженіе поля, въ которомъ онъ помѣщенъ, то опять-таки, пока напряженіе мѣняется, въ проводникѣ возникаетъ токъ.

Мы разсматриваемъ явленіе электрическаго тока, какъ слѣдствіе разности потенціаловъ на концахъ проводника (ч. III, гл. II, § 1). Обратно, можно сказать, что, если въ проводникѣ есть токъ, то потенціалы различныхъ сѣченій проводника различны. Значитъ, при движеніи проводника въ силовомъ полѣ на концахъ проводника возбуждается (индуктируется) электричество различныхъ потенціаловъ. Появляющійся при этомъ токъ называется *индуктивнымъ*.

Отличіе указаннаго способа полученія электричества отъ полученія его треніемъ, химическимъ взаимодѣйствіемъ веществъ или нагрѣваніемъ проводниковъ заключается въ томъ, что въ перечисленныхъ случаяхъ электричество возникало, какъ результатъ молекулярныхъ движеній, индуктивное же электричество явилось результатомъ перемѣщенія большихъ, сравнительно, массъ проводниковъ. Удобство полученія электричества такимъ *пондеромоторнымъ* *) способомъ заключается въ меньшей потерѣ, сопровождавшей обычно переходъ одного вида энергіи въ другой. При электризаціи треніемъ лишь ничтожная доля механической работы переходитъ въ электричество. Значительно большая часть ея расходуется на перемѣщеніе взаимодѣйствующихъ тѣлъ. Болѣе совершенный способъ, полученіе гальваническаго электричества, тоже не экономиченъ, такъ какъ и здѣсь значительная часть энергіи затрачивается на совершеніе химическихъ процессовъ. Сверхъ того, въ обоихъ способахъ нельзя избѣжать безполезнаго перехода энергіи, переводимой въ энергію электрическую, въ теплоту. Помимо этихъ общихъ недостатковъ, полученія статическаго и гальваническаго электричества имѣютъ и присущія отдѣльно каждому способу несовершенства. При полученіи электричества треніемъ количества его весьма ничтожны, такъ что невозможно получать этимъ путемъ болѣе или менѣе продолжительный токъ. Гальваническое электричество, хотя и развивается въ значительныхъ количествахъ, давая продолжительный токъ, но напряженіе этого тока крайне незначительно. Открытіе практическихъ способовъ полученія индуктивныхъ токовъ послужило могущественнымъ стимуломъ развитія современнаго приложенія электричества къ техникѣ. Безполезная затрата энергіи при такомъ способѣ полученія электричества незначительна и, какъ ко-

*) Отъ pondero—тяжесть и motore—двигатель.

личество, такъ и напряженіе получаемаго электричества, могутъ быть доведены до весьма значительныхъ величинъ. Способъ этотъ, совмѣщая въ себѣ достоинства двухъ предыдущихъ, лишенъ ихъ недостатковъ, почему въ настоящее время полученіе электричества помощью электростатическихъ машинъ или гальваническихъ элементовъ имѣетъ преимущественно историческій интересъ и примѣняется на практикѣ лишь въ особыхъ рѣдкихъ случаяхъ.

§ 3. **Направленіе и сила индуктивнаго тока.** Для опредѣленія направленія тока, возникающаго въ проводникѣ при пересѣченіи послѣднимъ силовыхъ линій электрическаго магнитнаго поля, Фарадей далъ такое правило: „*если большой палецъ правой руки* (рис. 231) *указываетъ направленіе силовыхъ линій поля, а средній направленіе перемѣщенія проводника, то поставленный къ нимъ подъ прямымъ угломъ указательный покажетъ направленіе индуктивнаго тока*".

Это же правило можно формулировать иначе: „*вообразивъ себя плывущимъ по направленію силовыхъ линій поля, оборотясь лицомъ по направленію движенія проводника, вытянутой въ бокъ правой рукой укажемъ направленіе индуктивнаго тока*".

Ленцъ въ 1834 г. нашелъ, что *направленіе индуктивнаго тока въ проводникѣ, движущемся въ силовомъ полѣ магнита или гальваническаго тока, таково, что взаимодѣйствіе его съ амперовыми токами магнита или съ гальваническимъ токомъ противодѣйствуетъ совершаемому движенію.* Чѣмъ больше напряженность поля, пересѣкаемаго проводникомъ, и чѣмъ быстрѣе движеніе проводника, тѣмъ сильнѣе возникающій въ немъ индуктивный токъ. Обѣ указанныя причины возрастанія силы индуктивнаго тока сводятся, въ сущности, къ одной: и въ томъ и въ другомъ случаѣ проводникъ въ единицу времени пересѣкаетъ большее число силовыхъ линій поля. На этомъ основаніи Фарадей вывелъ, что „*электро-движущая сила индуктивнаго тока прямо пропорціональна числу силовыхъ линій, пересѣкаемыхъ въ 1 сек. проводникомъ*".

Она можетъ быть выражена формулой $E=\frac{nlv}{10^8}$, гдѣ E—электродвижущая сила тока, выраженная въ вольтахъ, n—число силовыхъ линій на 1 кв. см, l—длина проводника въ см. и v—скорость движенія проводника въ направленіи, перпендикулярномъ направленію силовыхъ линій, выраженная въ см. въ секунду. Чтобы вызвать въ проводникѣ, длина котораго 1 см., эл.-дв. силу въ 1 вольтъ, надо пересѣчь имъ въ 1 сек. 100000000 силовыхъ линій.

Оставляя проводникъ неподвижнымъ и перемѣщая силовое поле, наблюдаемъ и въ этомъ случаѣ въ проводникѣ возникновеніе индуктивнаго тока. Причемъ, если, для случая нашего чертежа, отодвигать магнитъ отъ гальванометра, то токъ въ проводникѣ имѣетъ такое же направленіе, какъ при приближеніи къ гальванометру самого проводника. Правило Ленца и оба правила Фарадея остаются въ силѣ и при движеніи поля черезъ неподвижный проводникъ, такъ какъ при движеніи поля его силовыя линіи пересѣкаются проводникомъ. Когда разстояніе между возбудителемъ силового поля и проводникомъ не мѣняется, то тока въ проводникѣ не возникаетъ до тѣхъ поръ, пока напряженность поля остается постоянной. Увеличивая напряженіе, можно вообразить, что отъ источника силового поля распространяются силовыя линіи. Уменьшая напряженіе, можно представить линіи стягивающимися въ направленіи источника. Въ обоихъ случаяхъ число силовыхъ линій, пересѣкаемыхъ въ секунду контуромъ проводника, мѣняется, возрастая при усиленіи поля и убывая при ослабленіи. Вспомнивъ, что понятіе о числѣ силовыхъ линій чисто сим-

волическое, и лишь образно рисуетъ напряженность поля, можемъ свести всѣ указанныя причины возникновенія индуктивнаго тока въ проводникѣ къ одной: *измѣненіе напряженности поля, независимо отъ причины измѣненія, вызываетъ индуктивный токъ въ проводникѣ, который находится въ измѣняющемся полѣ.*

§ 4. **Индуктивный токъ въ спиральномъ проводникѣ.** Для наблюденія индуктивнаго тока въ спиральномъ проводникѣ (т. наз. катушкѣ, рис. 232) обмотку катушки соединяютъ съ гальванометромъ G. Силовое поле возбуждается гальваническимъ токомъ батареи B. Токъ этотъ идетъ по спиральному же проводнику P. Силовое поле вокругъ такой первичной спирали аналогично силовому полю, окружающему двуполюсный прямой магнитъ (ч. III, гл. IV, §§ 5 и 6). Спираль S, въ которой возникаетъ индуктивный токъ, носитъ названіе вторичной спирали. Діаметръ вторичной спирали больше наружнаго діаметра первичной, такъ что катушка S легко надѣвается и снимается съ катушки P. Въ цѣпь включаютъ прерыватель (коммутаторъ) K и реостатъ R. При положеніи коммутатора, изображенномъ на рисункѣ, тока въ цѣпи нѣтъ. Чтобы замкнуть токъ, надо надвинуть ручку коммутатора r, соединенную съ проводникомъ, на металлическую пластинку p. Пластинка соединена съ другимъ концомъ того же проводника. Такъ какъ назначеніе первичной спирали—возбуждать сильное магнитное поле, то ея сопротивленіе должно быть возможно малымъ, почему обмотка P дѣлается изъ толстой проволоки. Обмотка вторичной катушки, наоборотъ, дѣлается изъ возможно большаго числа оборотовъ тонкой проволоки, чтобы разность потенціаловъ на клеммахъ A и A_1 была наиболѣе ощутительной.

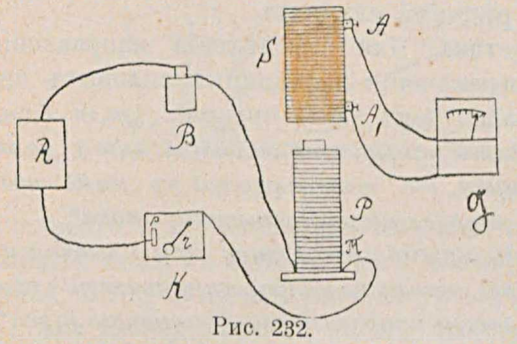


Рис. 232.

Индукція при движеніи проводника. Быстро надѣвая спираль S на спираль P, наблюдаютъ отклоненіе *) (вздрагиваніе) стрѣлки гальванометра. Въ моментъ остановки въ движеніи катушки указатель гальванометра возвращается къ нулевому положенію. Быстро снимая спираль S, замѣчаютъ паденіе указателя въ направленіи, обратномъ первому разу. Остановка въ движеніи спирали опять вызываетъ возвращеніе указателя гальванометра къ нулю.

Индукція при измѣненіи силы тока въ первичной спирали. Когда катушка S надѣта на P, тока въ ней нѣтъ: указатель гальванометра въ покоѣ. Быстро замыкая токъ коммутаторомъ K, замѣчаютъ отклоненіе гальванометра (вправо для нашего чертежа). Въ моментъ размыканія отклоненіе наблюдается въ обратную сторону (влѣво при направленіи тока, показанномъ на рисункѣ). То же самое дѣйствіе вызываетъ усиленіе и ослабленіе тока въ первичной спирали, что достигается введеніемъ меньшаго или большаго сопротивленія помощью реостата R. Роли первичной и вторичной спирали могутъ быть измѣнены. Соединяя катушку P съ гальванометромъ G, а S съ источникомъ тока, превратимъ P во вторичную, а S въ первичную спираль.

Резюмируя результаты описанныхъ наблюденій, выведемъ правило: *при приближеніи первичнаго проводника, замыканіи или усиленіи въ немъ тока во*

*) При направленіи тока, указанномъ на нашемъ чертежѣ, отклоненіе вправо.

вторичномъ проводникѣ пробѣгаетъ токъ въ противоположномъ направленiи; удаленiе первичнаго проводника, размыканiе и ослабленiе въ немъ тока возбуждаютъ во вторичномъ проводникѣ индуктивный токъ того же направленiя, какое имѣетъ первичный токъ.

§ 5. **Самоиндукцiя**. Индуктивный токъ появляется не только во вторичномъ, но и въ первичномъ проводникѣ. Появленiе такого тока носитъ названiе самоиндукцiи, а появляющiйся токъ называется *экстра-токомъ.* Изучено это явленiе *Генри*, въ 1832 г.

Причиною самоиндукцiи служитъ измѣненiе силы первичнаго тока (eo ipso размыканiе и замыканiе его), при которомъ мѣняется число силовыхъ линiй, пересѣкающихъ витки обмотки. Продолжительность экстра-тока зависитъ отъ продолжительности измѣненiя силы первичнаго тока. Его направленiе будетъ то же, какъ и прямого при ослабленiи и размыканiи. Такимъ образомъ появляющiйся при ослабленiи и замыканiи экстра токъ усиливаетъ дѣйствiе прямого тока (гальваническая искра, незамѣтная при замыканiи; ч. II, гл. XIII, § 3) и тѣмъ задерживаетъ ослабленiе. При размыканiи и усиленiи прямого тока экстра-токъ имѣетъ обратное направленiе и, слѣдовательно, ослабляетъ дѣйствiе прямого.

Самоиндукцiя спирали можетъ быть выражена формулой $L=\frac{4\pi^2 n^2 q}{l}$, гдѣ n — число витковъ, q — площадь сѣченiя и l — длина спирали въ см. *Коэффицiентомъ самоиндукцiи* называютъ эл.-дв. силу, индуктирующуюся въ проводникѣ при возрастанiи силы тока на 1 амп. въ секунду. Единицей коэффицiента самоиндукцiи, называемой *генри*, служитъ самоиндукцiя проводника, въ которомъ при измѣненiи тока на 1 амп. въ сек. появляется эл.-движущая сила въ 1 вольтъ. Тысячныя доли этой единицы называются *миллигенри*.

Для наблюденiя явленiй самоиндукцiи вводятъ первичную спираль въ одну изъ вѣтвей мостика Уитстона (ч. III, гл. X, § 3), установивъ приборъ такъ, чтобы указатель гальванометра въ мостикѣ стоялъ на нулѣ.

Размыкая первичный токъ, замѣчаютъ быстрое отклоненiе (т. н. ударъ) стрѣлки гальванометра. Замыканiе вызываетъ менѣе сильный ударъ въ обратную сторону. Въ прямыхъ проводникахъ тоже можно обнаружить появленiе экстра-токовъ, но въ значительно болѣе слабой степени.

Экстра-токъ сравниваютъ съ инерцiей матерiальныхъ массъ. Какъ при прекращенiи дѣйствiя силы на движущееся тѣло оно продолжаетъ движенiе по инерцiи, такъ и разомкнутый токъ прекращается не сразу. Обратная аналогiя для приведенiя тѣла въ движенiе и замыканiя тока столь же справедлива.

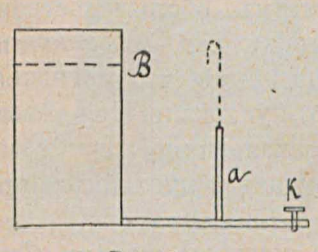


Рис. 233.

Вольтажъ экстра-тока можетъ быть больше разницы потенцiаловъ источника прямого тока. Для объясненiя этого парадокса можетъ служить, какъ аналогiя, водяной таранъ (рис. 233), въ которомъ при быстромъ закрыванiи крана *K* вода изъ узкой трубки *a* бьетъ фонтаномъ на высоту въ первый моментъ большую высоты уровня въ сосудѣ *B*.

Рис. 234.

Подтверждается же сдѣланное указанiе опытомъ *Флеминга*. Въ цѣпь изъ индукцiонной катушки (гл. II, § 1), источника тока и коммутатора (рис. 234)

включаютъ лампочку накаливанія. Лампочку подбираютъ такъ, чтобы при прохожденіи тока она не накаливалась. Въ моментъ же размыканія тока она вспыхиваетъ.

§ **6. Физіологическое дѣйствіе индуктивнаго тока.** Физіологическое дѣйствіе индуктивныхъ токовъ похоже на дѣйствіе разряда лейденской банки (колебательный разрядъ) и выражается непріятнымъ, а при болѣе или менѣе сильномъ токѣ—болѣзненнымъ ощущеніемъ покалыванія и сокращенія мускуловъ. Дѣйствіе сильнѣе въ моменты размыканія, чѣмъ въ моменты замыканія, и зависитъ не только отъ силы тока, но и отъ частоты прерыванія. Въ медицинѣ индуктивными токами пользуются для леченія нѣкоторыхъ нервныхъ болѣзней. Физіологическое дѣйствіе индуктивныхъ токовъ можно вполнѣ безопасно испытать при помощи обыкновеннаго электрическаго звонка (ч. II, гл. IV, § 2). Для этого надо прикоснуться одной рукой къ клеммѣ *A*, а другой къ *B*, когда звонокъ звонитъ (рис. 235). Такъ какъ пока звонокъ звонитъ, токъ все время прерывается и замыкается, то въ обмоткѣ электромагнита возникаетъ индуктивный экстра-токъ. Послѣдній, проходя черезъ тѣло экспериментатора, причиняетъ характерныя болѣзненныя ощущенія.

Рис. 235.

§ **7. Токи Фуко.** Индуктивные токи возникаютъ не только въ линейныхъ, но и массивныхъ проводникахъ. Токи эти подчиняются закону Ленца, противодѣйствуя прямому току, возбуждающему ихъ. *Гамбей* (1824 г.) впервые замѣтилъ, что магнитная стрѣлка, выведенная изъ нормальнаго положенія, скорѣе къ нему возвращается, когда подъ нею расположена параллельно плоскости качанія стрѣлки металлическая, хотя бы и не желѣзная или стальная, пластинка. Въ проводникѣ, каковой представляетъ пластинка, возникаютъ при измѣненіи напряженія поля магнита въ зависимости отъ его движенія индуктивные токи. Они могутъ достигать значительной силы, такъ какъ $J=\frac{e}{w}$, а сопротивленіе w въ массивномъ проводникѣ ничтожно. Токи эти противодѣйствуютъ вызывающему ихъ движенію. Практически этимъ обстоятельствомъ пользуются, окружая стрѣлки компасовъ и гальванометровъ т. н. *успокоителями*—массивными мѣдными обоймами. Легко показать на опытѣ, что магнитная стрѣлка, помѣщенная внутри мѣдной обоймы (рис. 236), успокаивается послѣ толчка скорѣе, чѣмъ безъ обоймы. Явленіе совершенно аналогично качанію маятника въ водѣ и въ воздухѣ. Въ первомъ случаѣ маятнику приходится преодолѣвать большее сопротивленіе среды.

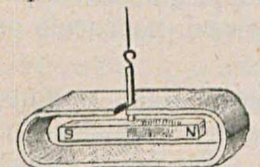


Рис. 236.

Токи, появляющіеся въ массивныхъ проводникахъ, названы *токами Фуко* или *вихревыми*.

Мы знаемъ, что внѣшнее сопротивленіе движенію вызываетъ въ движущемся тѣлѣ переходъ механической энергіи движенія въ тепловую. Такъ, напримѣръ, метеоръ, имѣющій во время движенія въ междупланетномъ простран-

ствѣ температуру близкую къ абсолютному нулю, пролетая черезъ атмосферу земли, раскаливается до свѣченія. Подобное же явленіе замѣчается и при движеніи массивнаго проводника въ магнитномъ полѣ: проводникъ нагрѣвается. Нагрѣваніе это было замѣчено *Джаулемъ*, изслѣдовалъ же его законы *Фуко*. Демонстрировать означенное явленіе можно на приборѣ *Вальтенгофена*. Приборъ (рис. 237) состоитъ изъ маятника съ массивной мѣдной чечевицей A, качающейся въ равныхъ разстояніяхъ отъ полюсовъ N и S сильнаго электромагнита. Плоскость каченія маятника перпендикулярна къ прямой, соединяющей полюсы. Чѣмъ сильнѣе токъ въ обмоткѣ электромагнита, тѣмъ быстрѣе нагрѣвается чечевица маятника.

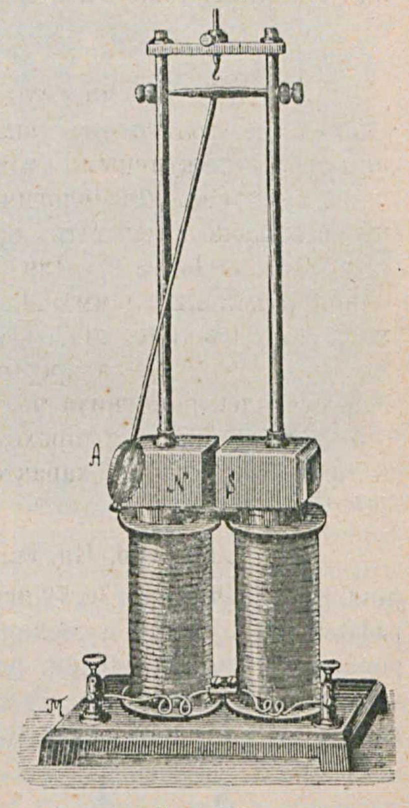


Рис. 237.

Отсюда можно вывести слѣдствіе, что сердечникъ электромагнита первичной катушки надо дѣлать не изъ массивнаго куска желѣза, а изъ отдѣльныхъ, изолированныхъ другъ отъ друга проволокъ. Въ массивномъ сердечникѣ при замыканіи тока возникаетъ индуктивный токъ Фуко, направленный противъ замыканія и замедляющій возрастаніе намагничиванія. Обратно, при размыканіи тока въ сердечникѣ возникаетъ индуктивный токъ, способствующій гистерезису (ч. II, гл. IV, § 1)

Въ сердечникѣ изъ отдѣльныхъ изолированныхъ желѣзныхъ проволокъ возникновеніе токовъ Фуко ослаблено, а сила магнитнаго поля больше, чѣмъ у массивнаго стержня. Токъ Фуко тѣмъ сильнѣе, чѣмъ меньше сопротивленіе проводника, а сопротивленіе многихъ тонкихъ проволокъ значительно больше, чѣмъ сопротивленіе стержня, площадь сѣченія котораго равна суммѣ площадей сѣченій всѣхъ проволокъ.

II. Индукторъ.

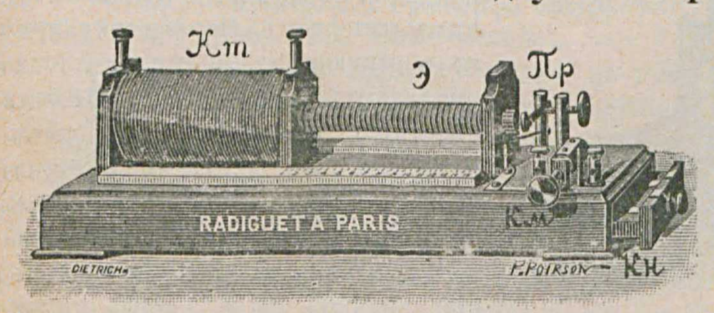


Рис. 238.

§ 1. Катушка Румкорфа. Первая индукціонная катушка была устроена въ 1848 г. *Массономъ* и *Брегe*. Токи, даваемые ею, были весьма слабы, и практическаго значенія она не имѣла. Въ 1851 г. ее значительно усовершенствовалъ *Г. Румкорфъ*, имя котораго и сохранилось за аппаратомъ. *Физо* ввелъ въ устройство катушки конденсаторъ для отвода появляющихся въ ней экстра-токовъ. Приборъ состоитъ (рис. 238) изъ электромагнита $Э$, сердечникъ котораго, состоящій изъ пучка мягкихъ желѣз-



Генрихъ Румкорфъ.

ныхъ проволокъ, обвитъ первичной обмоткой изъ двухъ-трехъ слоевъ изолированной толстой мѣдной проволоки. вторичной обмотки или собственно индукціонной катушки *Кт* изъ нѣсколькихъ десятковъ слоевъ весьма тонкой и тщательно изолированной мѣдной проволоки, концы которой соединены съ зажимами катушки, прерывателя *П*, коммутатора *Км* и конденсатора *Кн* (ч. II, гл. IX, § 10). Послѣднія двѣ части могутъ и отсутствовать. Конденсаторъ является лишнимъ въ присутствіи электролитическаго прерывателя (§ 2). Онъ состоитъ

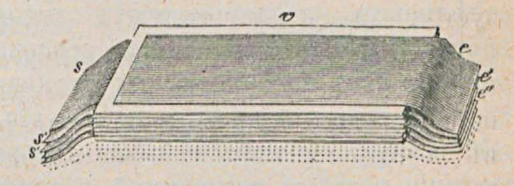


Рис. 239.

(рис. 239) изъ серіи станіолевыхъ листковъ, переложенныхъ напитанной параффиномъ бумагой и соединенныхъ поочередно съ обоими столбиками вагнеровскаго молоточка (схем. рис. 241), если таковой служитъ прерывателемъ въ катушкѣ. Коммутаторъ Румкорфа состоитъ изъ костяного или деревяннаго валика, вращающагося на двухъ латунныхъ штифтахъ. Одинъ изъ штифтовъ снабженъ шляпкой для вращенія валика. На боковой поверхности валика привинчены мѣдныя, выпуклыя накладки, соединенныя винтами внутри вала съ штифтами. Каждая накладка соединяется только съ однимъ штифтомъ. Перпендикулярно къ образующимъ цилиндра плотно прилегаютъ пружинящія мѣдныя пластинки, соединенныя съ клеммами для проводника отъ источника тока. Поворачивая валикъ такъ, чтобы пружины касались изолирующей поверхности, прерываемъ токъ; при поворотѣ на 90°, когда пружины коснутся мѣдныхъ накладокъ, —замыкаемъ; поворачивая еще на 180°, мѣняемъ направленіе тока, идущаго изъ штифтовъ въ прерыватель.

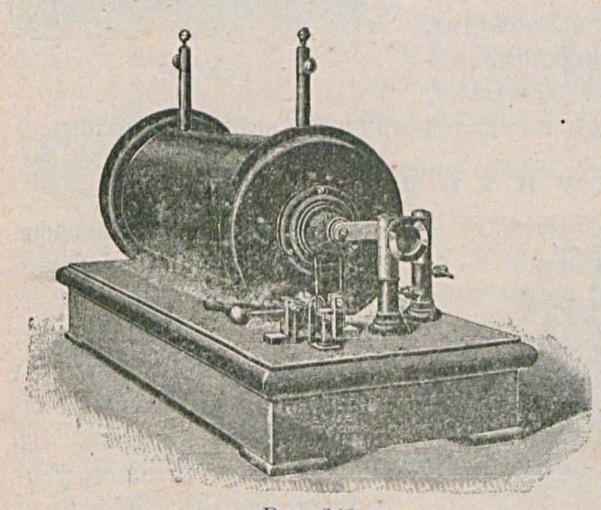


Рис. 240.

На схематическомъ рисункѣ 241 молоточекъ Вагнера обозначенъ буквою *М*,

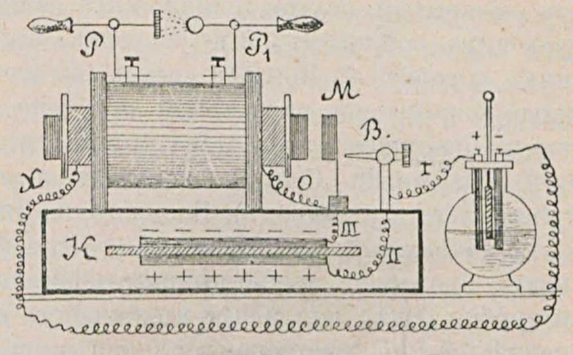


Рис. 241.

а штифтъ буквою *B* *) (см. ч. II, гл. IV, § 2). Промежутокъ между *M* и *B* можно регулировать подвинчиваніемъ штифта. Кончикъ его и противоположное ему мѣсто ручки молотка покрыты платиной во избѣжаніе окисленія при проскакиваніи въ этомъ промежуткѣ искръ при размыканіи тока (ч. III, гл. XIII, § 3). Токъ отъ батареи Грене (ч. III, гл. VII, § 6) идетъ черезъ прерыватель въ первичную обмотку, возбуждая индуктивный токъ во вторичной обмоткѣ. Ручки *P* и P_1 служатъ для сближенія проводниковъ (кондукторовъ), между которыми появляется искровый разрядъ

Когда электромагнитъ притягиваетъ молоточекъ, то въ прерывателѣ образуется перерывъ электрической цѣпи и электромагнитъ теряетъ свою магнитную силу; тогда молоточекъ упругостью пружины возвращается въ свое прежнее положеніе, прикасается къ винтику и цѣпь снова замыкается, послѣ чего повторяются тѣ же движенія молоточка и тѣ же соотвѣтственныя имъ явленія въ первичной цѣпи, т. е. *размыканіе* и *замыканіе*. Первое сопровождается искрой въ прерывателѣ и трескомъ этой искры; второе происходитъ при ударѣ пружинки о конецъ винта. Ударъ этотъ сопровождается звукомъ, болѣе сильнымъ, чѣмъ трескъ искры. Число этихъ ударовъ, о которомъ мы можемъ судить по тону (издаваемому прерывателемъ во время его дѣйствія), показываетъ число замыканій въ первичной цѣпи. Каждому замыканію первичной цѣпи соотвѣтствуетъ индуктированный токъ обратнаго направленія во вторичной цѣпи; эти токи чередуются съ прямыми индуктированными токами при размыканіяхъ. Такимъ образомъ, *все число индуктированныхъ токовъ во вторичной цѣпи вдвое больше, чѣмъ высота тона прерывателя*. Катушка Румкорфа въ ея современномъ видѣ представлена на рис. 240.

§ 2. **Электролитическій прерыватель.** Чтобы сдѣлать прерываніе первичнаго тока возможно болѣе частымъ и рѣзкимъ, съ 1900 г. обыкновенно примѣняютъ къ катушкѣ Румкорфа электролитическій прерыватель *Венельта* (рис. 242). Онъ состоитъ изъ сосуда, наполненнаго 20% растворомъ сѣрной кислоты, въ который опущенъ отрицательный электродъ,— свинцовая пластинка значительныхъ размѣровъ, и положительный электродъ,— тонкая платиновая проволочка, почти до самаго конца впаянная въ стеклянную трубочку и соединенная съ мѣдной проволокой. Еще въ 1884 году нашъ соотечественникъ, проф. *Н. П. Слугиновъ*, замѣтилъ, что при пропусканіи тока черезъ подобную установку токъ получается прерывистый. Венельтъ замѣнилъ указаннымъ приборомъ молоточекъ Вагнера, а *Карпантье* придалъ аппарату болѣе удобную конструкцію (рис. 243). Электролитическій прерыватель въ современномъ видѣ представляетъ латунный со-

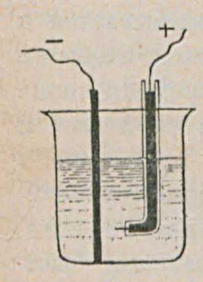


Рис. 242.

*) Остріе штифта въ положеніи, указанномъ на чертежѣ, должно касаться пружины молоточка *M*, что по ошибкѣ чертежника не показано на рисункѣ 241.

судъ, покрытый внутри свинцовымъ листомъ B и обернутый снаружи изолирующимъ войлокомъ; онъ заключенъ въ деревянную коробку A. Крышка сосуда имѣетъ горлышко, закрываемое каучуковой пробкой, сквозь которую пропущена стеклянная трубка съ платиновой проволокой. Сосудъ снабженъ зажимомъ (отрицательный электродъ). Положительный электродъ—подвижный: съ помощью стержня C платиновую проволоку можно выдвигать изъ стеклянной трубки болѣе или менѣе въ жидкость. Сосудъ наполняется 20% растворомъ сѣрной кислоты.

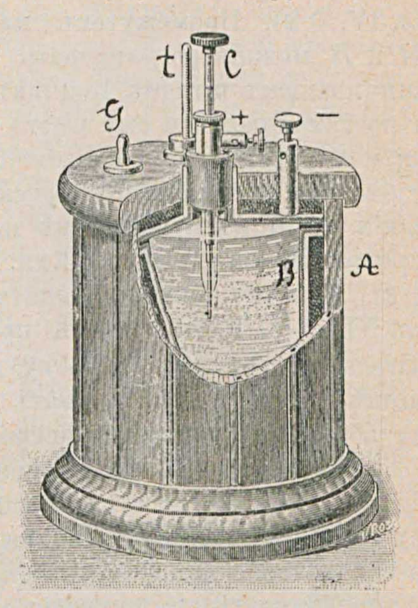
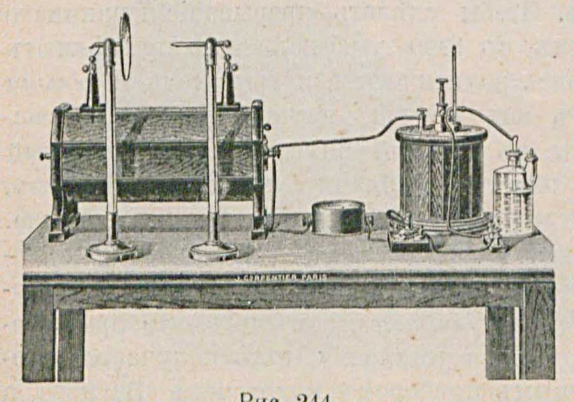


Рис. 243.

Во время работы этого прерывателя въ немъ выдѣляются газы, для выхода которыхъ служитъ особая трубка G, и развивается теплота. Для измѣренія температуры служитъ термометръ, трубочка котораго t выходитъ наружу. При правильной работѣ этого прерывателя температура въ немъ поддерживается въ 90°.

Первоначально дѣйствіе прерывателя объясняли тѣмъ, что при прохожденіи тока по тонкой платиновой проволокѣ она, накаливаясь, обращала въ газъ окружавшую ея конецъ жидкость. Пузырекъ газа, представляя громадное сопротивленіе току, прерывалъ его и, оторвавшись отъ проволоки, всплывалъ вверхъ; токъ же вновь замыкался. Болѣе вѣроятнымъ является позднѣйшее объясненіе, предполагающее, что подъ дѣйствіемъ электрическаго тока электролитъ (напр., вода, подкисленная сѣрной кислотой) разлагается; продуктами этого разложенія будутъ газы, появляющіеся на электродахъ въ тотъ же моментъ, какъ замыкается токъ. При достаточно сильномъ токѣ въ теченіе ничтожной доли секунды образуется столько газа, что пузырекъ его покрываетъ маленькій электродъ изолирующимъ слоемъ и токъ прекращается. Въ слѣдующее мгновеніе частицы газа, заряженныя тѣмъ же электричествомъ, какъ электродъ, отбрасываются отъ него, поверхность электрода открывается и токъ снова устанавливается, чтобы въ короткій промежутокъ времени вновь образовать изолирующій слой газа и т. д. Подтвержденіе этого объясненія мы видимъ въ томъ обстоятельствѣ, что дѣйствіе прерывателемъ неодинаково при обращеніи тока; болѣе быстрое и полное прерываніе имѣетъ мѣсто въ томъ случаѣ, когда маленькій электродъ будетъ анодомъ. Это обстоятельство, а также необычайная быстрота перерывовъ (до 3000 въ секунду) неизбѣжно приводитъ къ мысли, что все явленіе своимъ существованіемъ обязано іонамъ и тѣмъ быстрымъ движеніямъ, на которыя способны эти іоны.


Рис. 244.

Нѣсколько измѣненный прерыватель Венельта можетъ служить электролитическимъ выпрямителемъ перемѣннаго тока. Для этого свинцовый и алюминіевый электроды погружаются въ растворъ буры или виннокислаго калія. Если соединить алюминіевый электродъ съ катодомъ, то токъ проходитъ черезъ электролитъ, если же соединить его съ анодомъ, то токъ прекращается, потому что поверхность алюминія покрывается слоемъ борнокислаго или виннокислаго алюминія и кислорода. При перемѣнномъ токѣ алюминіевый электродъ попеременно становится то катодомъ, то анодомъ и, слѣдовательно, пропуская токъ лишь въ одномъ направленіи, является выпрямителемъ тока. Въ техникѣ такой приборъ (однако при напряженіяхъ не свыше 50 вольтъ) примѣняется, напр., для заряженія аккумуляторовъ отъ источника перемѣннаго тока.

Рис. 244 представляетъ современное расположеніе приборовъ для опытовъ съ индуктивными токами. Аппаратъ состоитъ изъ катушки Румкорфа, зажимы которой соединены съ т. н. разрядникомъ, представляющимъ дискъ и остріе, укрѣпленные на изолированныхъ подставкахъ; прерывателя Карпантье съ Вульфовой склянкой для поглощенія выдѣляемыхъ имъ газовъ; простого коммутатора (ч. III, гл. IX, § 6) и амперметра для измѣренія силы тока (ч. III, гл. XI, § 4).

Въ катушкахъ большой мощности ставятъ ртутный прерыватель *Фуко* съ отдѣльнымъ электромоторомъ (рис. 245). Вращаясь, электромоторъ то погружаетъ въ ртуть остріе иглы, то вынимаетъ ее изъ ртути, тѣмъ замыкая и размыкая первичный токъ. Электроды источника первичнаго тока соединены одинъ со ртутью, другой съ иглой.

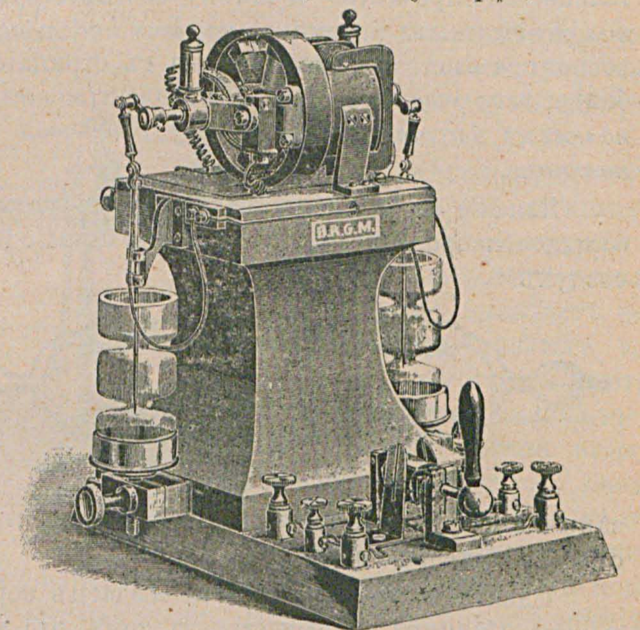


Рис. 245.

§ 3. **Разрядникъ.** Для опытовъ съ катушкой Румкорфа устраивается *разрядникъ*, аналогичный шаровымъ кондукторамъ электростатической машины. Онъ состоитъ изъ металлическихъ стержней, вдвигаемыхъ въ зажимы вторичной катушки и могущихъ сближаться и раздвигаться при помощи изолированныхъ ручекъ. Иногда такой разрядникъ, носящій названіе разряднаго столика, устраиваютъ отдѣльно отъ катушки, соединяя проводниками съ ея клеммами.

Стержни оканчиваются обыкновенно остріями, на которыя могутъ быть насажены шарики или плоскіе диски.

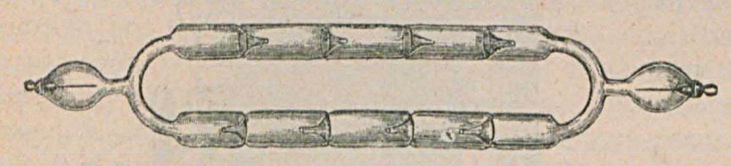
§ 4. **Искры индуктора.** Для изслѣдованія искры индуктора электроды разрядника, оканчивающіеся остріями, устанавливаютъ на небольшое разстояніе и приводятъ въ дѣйствіе катушку (замыкаютъ первичную цѣпь). Наблюдаютъ короткую и прямую искру, которая кажется непрерывной. Раздвигаютъ понемногу

электроды: искра дѣлается болѣе тонкой, трескъ усиливается. При дальнѣйшемъ удаленіи электродовъ искра прекращается. *Опредѣляютъ наибольшее разстояніе, на которомъ сохраняется искра*; *оно называется искровымъ разстояніемъ* и характеризуетъ силу индукціоннаго аппарата.

Когда электроды настолько раздвинуты, что искра перестала перескакивать, разсматриваютъ концы электродовъ въ темнотѣ. На одномъ изъ нихъ наблюдаютъ свѣтящуюся краснымъ фіолетовымъ свѣтомъ кисть, на другомъ только свѣтлую точку. Мѣняютъ направленіе тока: кисть и точка мѣняются мѣстами.

Простѣйшій электроскопъ съ тонкими металлическими листочками заряжаемъ (отъ сургуча, потертаго о шерстяную матерію) отрицательнымъ электричествомъ. Приближая электроскопъ къ кисти, замѣчаемъ, что листочки электроскопа сходятся; слѣдовательно, въ формѣ кисти истекаетъ въ воздухъ положительное электричество и потому соотвѣтствующій полюсъ катушки называютъ *положительнымъ полюсомъ (на немъ наблюдается свѣтящаяся кисть)*. У другого полюса листочки электроскопа съ отрицательнымъ зарядомъ расходятся еще болѣе; заключаемъ, что на немъ электричество отрицательное. Слѣдовательно, *полюсъ съ блестящей точкой или оболочкой нужно назвать отрицательнымъ полюсомъ.*

Явленіе это объясняется тѣмъ, что прямые индуктированные токи имѣютъ большое напряженіе и потому только они одни даютъ потоки электричества въ воздухъ.


Рис. 246.

Для быстраго опредѣленія полюсовъ катушки примѣняютъ трубку *Гольца* (рис. 246), по которой токъ можетъ проходить лишь по направленію воронокъ. При замыканіи свѣтится то колѣно трубки, носики воронокъ котораго направлены отъ отрицательнаго полюса.

Сдвигаемъ электроды и наблюдаемъ короткую искру. Она кажется толще и ярче. Причина заключается въ томъ, что малое разстояніе между электродами преодолѣвается и менѣе напряженными токами обратнаго направленія. Тонкія искры при большемъ разстояніи электродовъ суть разряды только прямыхъ токовъ.

На одно остріе разрядника насаживаютъ *шарикъ*, или просто одинъ изъ стержней замѣняютъ какимъ-нибудь металлическимъ предметомъ, имѣющимъ большую поверхность и соединяютъ его съ отрицательнымъ полюсомъ индукціонной катушки. Если теперь второй электродъ приблизить на искровое разстояніе, то при такомъ направленіи главнаго индукціоннаго тока (отъ острія къ шарику) вмѣсто искры получается *свѣтящаяся полоса*, идущая съ шара и суживающаяся по направленію къ острію. Перемѣняя направленіе тока, мы опять получимъ одну искру, идущую отъ какой-нибудь точки шара къ острію.

Замѣняя шарикъ на отрицательномъ электродѣ *дискомъ* (или вообще большой металлической поверхностью какого угодно контура) расширяютъ свѣтлую полосу (рис. 247) и такимъ образомъ обнаруживаютъ, что она представля-

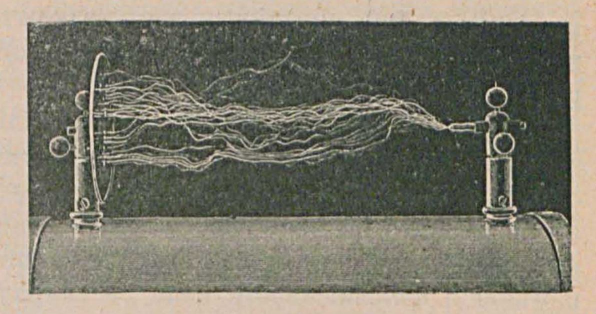


Рис. 247.

етъ цѣлый потокъ искръ, идущихъ отъ острія къ различнымъ точкамъ диска. При перемѣнѣ направленія тока снова получаемъ одну искру (къ острію отъ средины диска).

Заставляя искру проходить по какой-нибудь *очень тонкой металлической поверхности*, можно получить *искру въ 20 разъ длиннѣе*, чѣмъ при обыкновенныхъ условіяхъ. Такая искра будетъ проходить зигзагами.

III. Электро-акустика.

§ 1. **Телефонъ.** Трансформированіе звуковой энергіи въ электрическую можетъ быть демонстрировано при помощи двухъ электромагнитовъ (рис. 248).

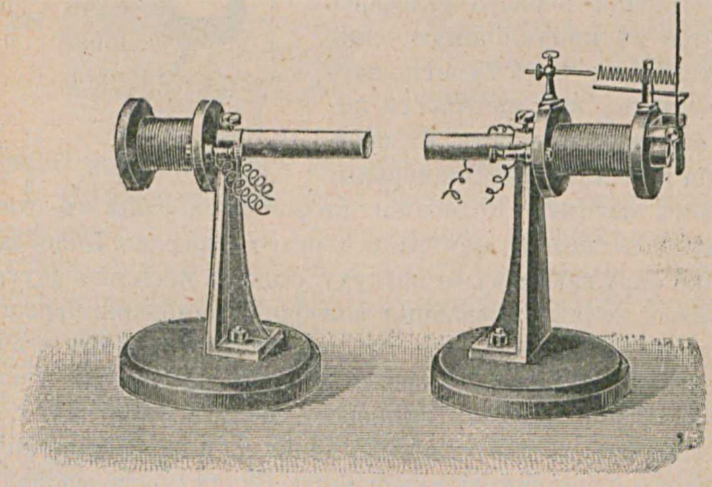


Рис. 248.

Перемѣщая передъ якоремъ одного изъ магнитовъ желѣзную пластинку, мѣняютъ напряженность поля магнита, что вызываетъ появленіе индуктивныхъ токовъ въ обмоткѣ магнита. Эта обмотка соединена проводами съ обмоткой второго магнита, такъ что появленіе индуктивнаго тока въ первой сопровождается пробѣганіемъ тока во второй, а слѣдовательно измѣненіемъ напряженности поля второго магнита. Обнаруживается это измѣненіе дрожаніемъ желѣзнаго листка, подвѣшиваемаго вблизи якоря второго магнита. Основываясь на описанномъ, *Ш. Бурсейль*, въ 1854 г., высказалъ мысль о возможности устроить приборъ для передачи звука на разстояніе помощью электричества.

Принципъ *телефона*,—аппарата для передачи устной рѣчи на значительныя разстоянія, данъ въ 1860 г. *Ф. Рейссомъ*. Практическую форму прибору впервые придалъ *Г. Белль* въ 1877 г. *). Въ дальнѣйшемъ же въ устройство телефона внесли усовершенствованія *Сименсъ, Адеръ* и мн. другіе.

Телефонъ Белля (рис. 249) состоитъ изъ полосового магнита, вокругъ якоря котораго, сдѣланнаго изъ самаго мягкаго желѣза, намотана индукціонная катушка. Обмотка катушки сдѣлана изъ тонкой, тщательно изолированной проволоки и состоитъ изъ весьма большого числа отдѣльныхъ витковъ. Якорь нѣсколько выступаетъ изъ катушки. Надъ якоремъ расположена тонкая желѣзная

*) Однако, еще въ 1871 г. ходатайство о выдачѣ патента на такой же аппаратъ было возбуждено *А. Майгчи*, за которымъ и долженъ быть признанъ пріоритетъ на это изобрѣтеніе.

мембрана *p*. Всѣ описанныя части заключены въ трубку изъ вещества, не проводящаго токъ. Конецъ трубки надъ мѣстомъ прикрѣпленія мембраны расширенъ.

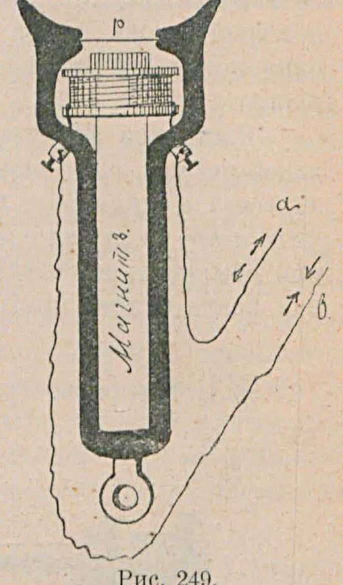


Рис. 249.

Если говорить въ этотъ раструбъ, то воздушная звуковая волна передаетъ колебаніе мембранѣ *p*. Желѣзная мембрана то приближается, то удаляется отъ якоря магнита, мѣняя тѣмъ самымъ напряженіе магнитнаго силового поля (§ 3, гл. I). Въ зависимости отъ измѣненія напряженности поля въ спирали, окружающей якорь, возникаютъ индуктивные токи. Направленіе этихъ токовъ мѣняется, смотря по тому, приближается ли въ своемъ колебаніи мембрана къ якорю, или удаляется отъ него. Проводниками *a* и *b* описанный аппаратъ соединенъ съ другимъ совершенно такимъ же приборомъ. Экстра-токъ спирали перваго телефона по проводникамъ направляется въ индукціонную спираль второго. Для второго телефона токъ будетъ первичнымъ и вызоветъ измѣненія въ напряженности поля его магнита. Измѣненіе же напряженности, въ свою очередь, вызоветъ притяженія и отталкиванія мембраны, расположенной передъ якоремъ магнита. Колебанія второй мембраны въ точности будутъ соотвѣтствовать колебаніямъ мембраны перваго телефона. Колеблющаяся мембрана, давая толчки окружающему ее воздуху, станетъ посылать звуковыя волны той же высоты, какъ волны, вызвавшія колебанія мембраны перваго прибора. Прикладывая къ раструбу прибора ухо, наблюдатель услышитъ рѣчь говорящаго въ раструбъ перваго аппарата съ сохраненіемъ ея тембра. Роли обоихъ тождественныхъ по своему устройству приборовъ могутъ мѣняться, т. е. каждый изъ нихъ можетъ служить и для трансформаціи и для репродукціи звука. Послѣдняя задача удачно исполняется телефономъ Белля (преобразованіе электромагнитной энергіи въ звуковую), что же касается первой (возбужденіе измѣненія напряженности магнитнаго поля механической работой звуковой волны), то здѣсь только часть энергіи движенія звуковой волны затрачивается на приведеніе въ движеніе мембраны второго аппарата. Благодаря этому описанный телефонъ передаетъ звукъ неясно и на небольшое разстояніе. *Сименсъ* замѣнилъ прямой магнитъ телефона Белля, въ которомъ силовое поле однополюсное, подковообразнымъ магнитомъ; *Адеръ* придалъ магниту форму разрѣзаннаго кольца, но все же и съ такимъ болѣе сильнымъ полемъ приборъ не достигъ практически достаточнаго совершенства. Въ настоящее время аппараты, построенные по типу телефона Белля, Сименса и друг., примѣняются лишь для слушанія, т. е. дѣйствуютъ только какъ репродукторы звука. Для пріема звуковыхъ волнъ и для трансформированія ихъ движенія въ индуктивные токи примѣняются особые приборы—*микрофоны* (усилители).

§ 2. Микрофонъ. Согласно закону Ома (ч. III, гл. XI, § 1) измѣненіе сопротивленія въ цѣпи измѣняетъ силу тока. Въ телефонѣ же, какъ мы сейчасъ видѣли, измѣненіе силы тока вызываетъ появленіе звуковыхъ волнъ. Если не говорить въ телефонъ, а какимъ-нибудь другимъ способомъ мѣнять силу тока,

посылаемаго имъ во второй приборъ, то во второмъ приборѣ можно услышать шумъ. Такой шумъ, вредящій ясности передачи рѣчи, можно замѣтить въ каждомъ телефонѣ. Онъ является слѣдствіемъ постороннихъ токовъ, возникающихъ въ цѣпи, соединяющей аппараты. Самый слабый токъ способенъ вызвать колебаніе діафрагмы, такъ что телефонъ можетъ служить весьма чувствительнымъ гальваноскопомъ. Если ввести въ какую-либо цѣпь телефонъ, то звуки, возникающіе въ немъ при самомъ незначительномъ измѣненіи силы тока въ цѣпи, дадутъ возможность обнаружить это измѣненіе.

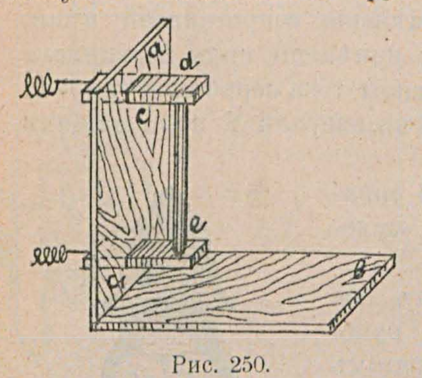


Рис. 250.

Въ 1878 г. *Юзъ* устроилъ приборъ, измѣняющій сопротивленіе цѣпи въ зависимости отъ звуковыхъ волнъ, достигающихъ прибора. *Микрофонъ Юза* состоялъ изъ угольнаго стерженька *c* (рис. 250), упиравшагося въ горизонтальныя угольныя пластинки *d* и *e*, соединенныя съ проводами телефона и съ постояннымъ источникомъ тока. Къ пластинкамъ прикрѣплена деревянная дощечка *ab* (резонаторъ). Движеніе дощечки (а движеніе ея произойдетъ не только при прикосновеніи къ ней, но и при ударѣ о ея поверхность воздушной звуковой волны) влечетъ за собою перемѣщеніе угольнаго стерженька.

Стерженекъ при этомъ прижимается къ пластинкамъ то большей, то меньшей поверхностью, а слѣдовательно сопротивленіе прохожденію тока изъ пластинки въ стерженекъ и изъ него въ другую пластинку тоже мѣняется. Измѣненіе сопротивленія цѣпи вызываетъ колебаніе мембраны, сопровождаемое звуковыми явленіями. Держа около дощечки микрофона звучащій камертонъ, можно услышать въ соединенномъ съ нимъ телефонѣ звукъ той же высоты, но значительно большей силы. Такъ какъ колебанія мембраны вызываются лишь измѣненіемъ силы тока въ катушкѣ телефона, то постоянный токъ отъ батареи, включенной въ цѣпь, не приводитъ мембраны въ ритмическое движеніе и не сопровождается звуковыми явленіями.

На томъ же принципѣ, какъ микрофонъ Юза, основано устройство и болѣе усовершенствованныхъ микрофоновъ, напримѣръ, *Адера*, въ которомъ угольныя палочки укрѣплены горизонтально; *Гуннинга*, замѣнившаго угольный стерженекъ слоемъ зерненнаго угля; *Эдисона*, съ тонкой пластинкой, спрессованной изъ угольнаго порошка и др.

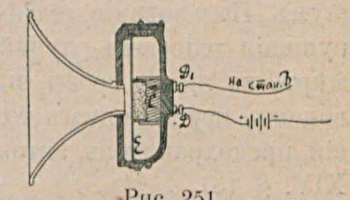


Рис. 251.

Въ микрофонахъ съ угольнымъ порошкомъ (рис. 251) слой послѣдняго *c* прикрытъ тонкой упругой пластинкой *E* (діафрагмой) и заключенъ въ плоскую коробочку. Провода соединены: одинъ *D* съ мембраной, другой D_1 съ порошкомъ. Говоря передъ пластинкой, приводятъ ее въ движеніе; она при этомъ то нажимаетъ на лежащій подъ нею слой угольнаго порошка, то отходитъ отъ него, отчего проводимость слоя, какъ это было замѣчено еще въ 1856 году *Дю-Монселемъ*, мѣняется. Въ Эдисоновскомъ микрофонѣ мѣняется не сопротивленіе въ мѣстахъ соприкосновенія отдѣльныхъ угольныхъ зеренъ, а сопротивленіе самой пластинки въ зависимости отъ измѣненія давленія, производимаго на нее діафрагмой.

§ 3. **Сочетаніе телефона и микрофона.** Рис. 252 представляетъ схематически устройство современнаго телефона, въ которомъ говорящій пользуется микрофономъ, а слушающій телефономъ. Токъ черезъ микрофонъ XX идетъ отъ батареи *B* въ первичную спираль румкорфовой катушки *P*. Вторичная спираль ея *S* соединена двумя проводами съ телефономъ *t*. Если говорить передъ мембраной микрофона, то уголекъ его придетъ въ ритмическое дрожаніе. Дрожаніе уголька вызоветъ ритмическое измѣненіе сопротивленія цѣпи, а, слѣдовательно, таковое же измѣненіе силы первичнаго тока обмотки *P*. Измѣненія силы тока первичной спирали сопровождаются появленіемъ индуктивныхъ токовъ въ спирали *S*, приводящихъ въ дрожаніе мембрану телефона

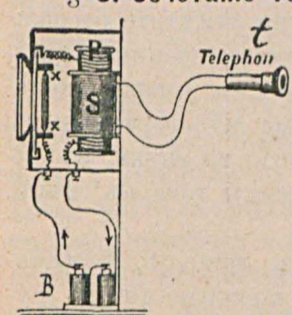


Рис. 252.

Рис. 253 представляетъ внѣшній видъ такого аппарата. Буква *M* указываетъ микрофонъ, а буква *A*—телефонъ.

Въ настоящее время обыкновенно соединяютъ оба прибора—телефонъ и микрофонъ на одной общей рукояткѣ, что даетъ возможность пользоваться аппаратомъ на нѣкоторомъ разстояніи отъ ящика съ катушкой и батареей, съ которыми приборъ соединяется гибкимъ проводомъ. Чтобы батарея работала только во время пользованія телефономъ, телефонъ подвѣшиваютъ на концѣ рычага, размыкающаго токъ батареи. Для переговоровъ по телефону надо предварительно снять его съ рычага и тѣмъ автоматически замкнуть токъ. Началу и концу переговоровъ предшествуетъ сигналъ электрическимъ звонкомъ. Для уменьшенія сопротивленія провода, соединяющіе два телефона между собою, дѣлаются изъ мѣдныхъ проволокъ значительной толщины. Пользованіе при этомъ, какъ при телеграфированіи, землей въ роли второго провода вызываетъ въ телефонѣ возникновеніе постороннихъ звуковъ. Въ почвѣ, особенно вблизи телеграфныхъ и другихъ электрическихъ установокъ, существуютъ т. наз. *блуждающіе токи*. Въ телефонѣ такіе токи будутъ производить шумъ. Пользованіе телефономъ во время грозы опасно. Въ предупрежденіе разрушенія телефона случайно проникшимъ въ цѣпь постороннимъ токомъ (напримѣръ, во время грозы, или при соприкосновеніи телефоннаго провода съ проводомъ, передающимъ токъ значительной силы) включаютъ въ цѣпь легкоплавкій предохранитель, автоматически выключающій телефонъ изъ цѣпи (ч. III, гл. XIV, § 15).

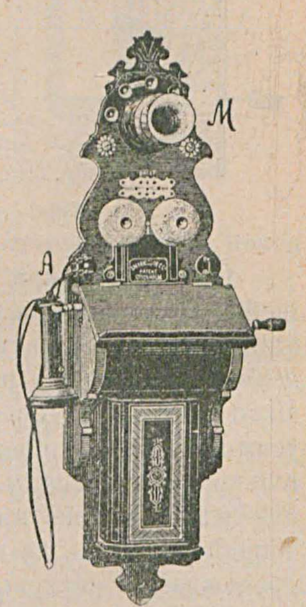


Рис. 253.

Первая телефонная станція была устроена въ Берлинѣ, въ 1881 г. Включеніе абонентовъ первоначально производилось штепселями, а затѣмъ особыми переключателями. Сигнализація вызова звонками сопровождается вспыхиваніемъ лампочки накаливанія, соотвѣтствующей номеру абонента. Дальнѣйшимъ улучшеніемъ центральныхъ станцій явилось полу-автоматическое соединеніе абонентовъ, требующее однако участія служащаго на станціи, который, будучи выз-

ванъ абонентомъ, соединяетъ его аппаратъ съ аппаратомъ требуемаго имъ номера, нажимая послѣдовательно кнопки съ цифрами номера. Съ 1910 г. стали входить въ практику автоматическія станціи, въ которыхъ указанное соединеніе дѣлается самимъ абонентомъ.

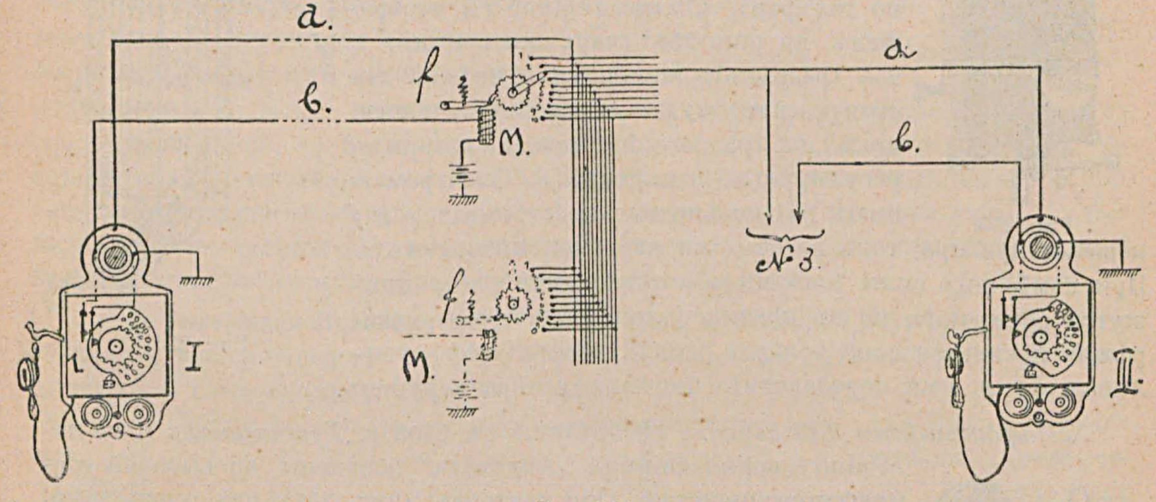
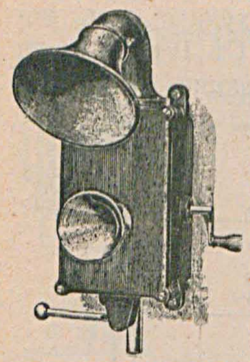


Рис. 254.

Схема такой станціи, сохраняющей время абонента и исключающей возможность подслушиванія, изображена на рис. 254-омъ. Аппараты абонентовъ снабжены зубчатыми номерными шайбами съ грифомъ для вращенія и контактнымъ зубцомъ. На крышкѣ аппарата нанесены номера абонентовъ отъ 1-го по 10-й. На центральной станціи имѣется зубчатое колесо съ контактнымъ рычажкомъ и электромагнитомъ *M*. Если, напр., абонентъ I-й желаетъ вызвать абонента III-го, то онъ вращаетъ шайбу съ 0 до 3. Въ моментъ касанія зубцомъ контактнаго кольца пружинка послѣдняго дѣлаетъ контактъ въ пунктѣ 1-мъ центральной станціи. Токъ по проводу *в* идетъ въ обмотку электромагнита *M* и черезъ землю возвращается въ батарею. При дальнѣйшемъ вращеніи шайбы токъ размыкается, пружинка *f* оттягиваетъ якорь электромагнита и онъ ударяетъ о зубецъ зубчатаго колеса, передвигая его и рычажокъ на одно дѣленіе, съ 0 на 1. При поворотѣ шайбы дальше замыкается контактъ 2-й и подъ вліяніемъ новаго импульса тока рычажокъ перемѣщается на 2-е дѣленіе и т. д. На схемѣ абоненты указаны уже соединенными другъ съ другомъ. При 100 абонентахъ зубчатое колесо центральной станціи замѣнено валикомъ и имѣется два магнита для десятковъ и единицъ. Одинъ магнитъ можетъ поднимать валикъ на 10 дѣленій, а другой вращать на столько же дѣленій. Такимъ образомъ абонентъ, желая присоединить, напр., аппаратъ 82-й, восемь разъ вводитъ токъ въ первый магнитъ, поднимая его на 8 дѣленій, и два раза поворачиваетъ шайбу, соединенную со вторымъ магнитомъ, вращая валикъ до контакта со вторымъ номеромъ восьмого десятка. При установкахъ на 1000 и болѣе абонентовъ устройство автоматическихъ соединителей еще сложнѣе; однако ихъ дѣлаютъ въ послѣднее время даже на 100000 номеровъ.

§ 4. **Специальные телефоны**. Телефонные аппараты нашли за послѣднее время самое разнообразное примѣненіе, приспособившись къ опредѣленному назначе-


Рис. 255.

нію. Таковы *громкоговорящіе телефоны*, устанавливаемые на вокзалахъ, въ мастерскихъ, машинныхъ помѣщеніяхъ и пр. Одинъ изъ такихъ телефоновъ, а именно телефонъ *Филипса* (1909 г.) изображенъ на рис. 255 (наружный видъ) и 256 (разрѣзъ). Мембрана телефона состоитъ изъ двухъ желѣзныхъ пластинокъ *dd*, разстояніе между которыми регулируется штифтомъ *r*. Электромагниты *m* помѣщены на стѣнкахъ *e* и *f* коробки прибора; токъ въ обмотки вводится проводомъ *c*. При измѣненіи силы тока въ обмоткахъ мембраны движутся синхронно, но въ противоположныя стороны, разрѣжая и сжимая слой воздуха между ними и тѣмъ усиливая звуки, ими передаваемые по каналу черезъ рупоръ.

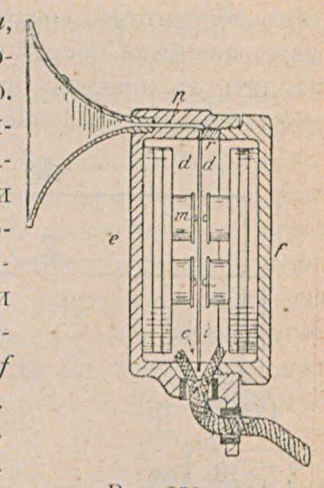
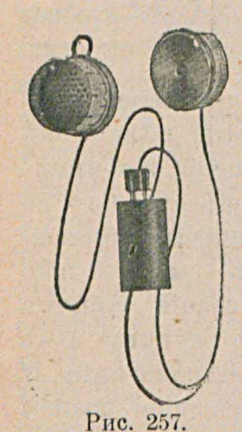


Рис. 256.

Микротелефоны для глухихъ изобрѣтены въ 1903 г. *Гутчисономъ* и въ настоящее время фирмой „Акустика“ доведены до высокой степени совершенства. Они состоятъ (рис. 257) изъ очень чувствительнаго микрофона, принимающаго звуковыя волны телефона, прижимаемаго къ уху и воспроизводящему воспринятыя мембраной микрофона звуковыя колебанія, и карманной батарейки сухихъ элементовъ въ качествѣ источника тока. Усиленіе звука настолько значительно, что каждый глухой, если только его слуховой нервъ не атрофированъ окончательно, можетъ отчетливо слышать рѣчь, произносимую безъ повышенія голоса.


Рис. 257.

Телемикрофонографъ представляетъ сочетаніе телефона, микрофона и граммофона, устроенное въ 1907 г. *Дюкрете*. Онъ служитъ для передачи на большое разстояніе звуковъ граммофона, передъ рупоромъ котораго подвѣшивается микрофонъ, соединенный проводами съ обыкновеннымъ или громкоговорящимъ телефономъ.

Въ 1900 г. *Поульсенъ* указалъ возможность автоматически записывать телефонное сообщеніе и вновь его репродуцировать. Его *телефонографъ* состоитъ изъ телефона съ особымъ электромагнитомъ, въ полѣ котораго движется стальная проволока или лента. Когда говорятъ по телефону, то магнитное поле испытываетъ колебанія напряженія, зарегистрировывающіяся на лентѣ, которая намагничивается неравномѣрно. Если вмѣсто микрофона ввести въ цѣпь телефонъ и вновь провести ленту между полюсами электромагнита, то она вызоветъ измѣненія въ напряженности его поля и появленіе индуктивныхъ токовъ въ обмоткѣ телефона, мембрана котораго будетъ то сильнѣе, то слабѣе притягиваться къ якорю телефоннаго магнита, репродуцируя волны, такъ сказать, „отпечатанныя“ на стальной лентѣ. Въ усовершенствованномъ видѣ этотъ приборъ, подъ названіемъ *телеграфона*, вошелъ съ 1911 г. въ практику для автоматическаго записыванія рѣчей въ замѣну стенографіи.

§ 5. Говорящій конденсаторъ. *Дольбиръ*, въ 1881 г., ввелъ въ телефонную цѣпь вмѣсто телефона пластинчатый конденсаторъ. Схематически расположеніе приборовъ представлено на рис. 258. Первичная обмотка катушки *I* соединена съ микрофономъ *M* и источникомъ прямого тока *B*. Вторичная обмотка той же катушки соединена съ другимъ источникомъ тока B_1 и конденсаторомъ *K*. Когда звуковая волна, ударяя въ мембрану микрофона, мѣняетъ его сопротивленіе, то во вторичной обмоткѣ возникаетъ индуктивный токъ, который будетъ усиливать или ослаблять прямой токъ источника B_1, вызывая притяженіе и отталкиваніе разноименно заряженныхъ частей конденсатора. Это движеніе сопровождается возникновеніемъ звуковыхъ волнъ, репродуцирующихъ звуки, воспринятые микрофономъ, и усиливающихъ ихъ.

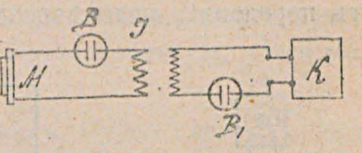


Рис. 258.

§ 6. Говорящая Вольтова дуга. Интересный физическій экспериментъ представляетъ воспроизведеніе звуковъ помощью вольтовой дуги. Впервые онъ былъ сдѣланъ *I. Симмономъ*, въ 1898 г.

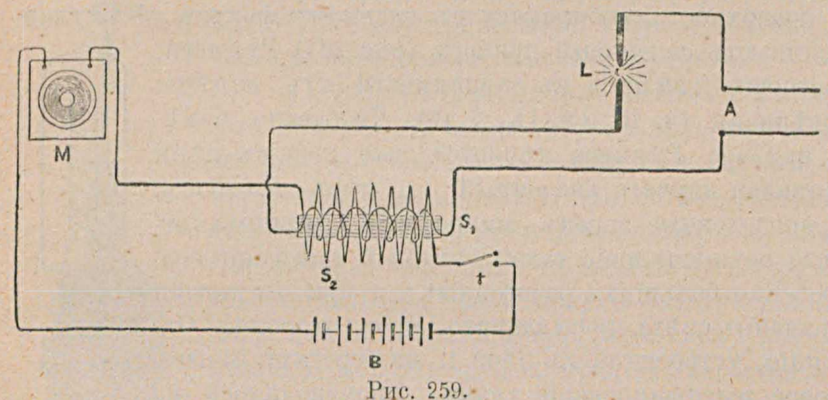


Рис. 259.

Рис. 259 изображаетъ схематическое расположеніе приборовъ для такого опыта. Источникъ тока долженъ имѣть не менѣе 110 вольтъ напряженія. Если говорить или играть на музыкальномъ инструментѣ передъ мембраной микрофона *M*, то въ первичной спирали катушки S_2 токъ будетъ испытывать измѣненія въ силѣ. Такое измѣненіе силы тока первичной спирали вызоветъ появленіе индуктивныхъ токовъ во вторичной спирали той же катушки S_1, которые будутъ то ослаблять, то усиливать дѣйствіе постояннаго тока, питающаго дугу *L*. Въ свою очередь, и вольтова дуга въ зависимости отъ измѣненія силы питающаго ее тока будетъ то усиливаться, то ослабляться. Воздухъ, окружающій дугу, при уменьшеніи ея температуры охлаждается, а при увеличеніи нагрѣвается. Какъ слѣдствіе ритмическихъ измѣненій температуры, возникнетъ ритмическое сгущеніе и разрѣженіе воздуха, окружающаго дугу. Если такія сгущенія и разрѣженія смѣняютъ послѣдовательно другъ друга чаще 32 разъ въ секунду, то вызванныя ими воздушныя волны, достигнувъ нашего слуха, будутъ восприняты, какъ звуковыя. Но, такъ какъ возникающія сгущенія и разрѣженія воздуха, окружающаго вольтову дугу, совпадаютъ по времени съ сгущеніями и разрѣженіями воздуха передъ мембраной микрофона, послѣднія же являются слѣдствіемъ звуковыхъ волнъ, то, обратно, волны, идущія отъ дуги, воспроизведутъ звуки той же высоты, какъ звучавшіе передъ микрофономъ.

Буква *B* обозначаетъ на рисункѣ источникъ тока для микрофона, *t* прерыватель, *A* провода къ источнику тока для вольтовой дуги.

§ 7. **Свѣтовой телефонъ.** Приспособленіе, подобное предыдущему, позволяетъ передавать человѣческую рѣчь и другіе звуки на разстояніе помощью свѣ-

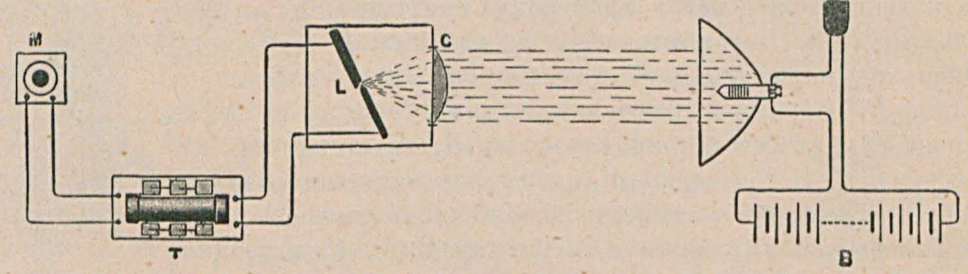


Рис. 260.

та. Для такой передачи, какъ это показано на рис. 260, на станціи отправленія установленъ микрофонъ *M*, трансформаторъ *T* и вольтова дуга *L*, помѣщенная въ главномъ фокусѣ параболическаго стекла *C*. Свѣтовые лучи, преломившись, идутъ параллельно въ направленіи, по которому установленъ прожекторъ. Эти параллельные лучи падаютъ на параболическое зеркало станціи полученія, гдѣ, отразившись отъ его поверхности, собираются въ главномъ фокусѣ. Въ главномъ фокусѣ устанавливаютъ селеновый приборъ (рис. 261) Руммера, электропроводность котораго мѣняется въ зависимости отъ измѣненія интенсивности освѣщенія (ч. III, гл. IX, § 10). Сообразно измѣненію проводимости прибора Руммера мѣняется сила тока въ цѣпи пріемной станціи, заставляя звучать введенный въ цѣпь телефонъ, передающій звуки, произведенные передъ микрофономъ станціи отправленія. Понятно, что осуществленіе такой свѣтовой телефоніи возможно лишь на неособенно большихъ разстояніяхъ и при отсутствіи препятствій распространенію свѣта, посылаемаго прожекторомъ. Однако на опытной станціи, устроенной въ 1902 г. на берегахъ Ванзее, близъ Берлина, свѣтовое телефонированіе удачно производилось на разстояніи 7 килом.

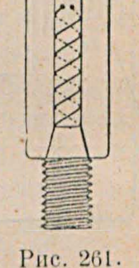


Рис. 261.

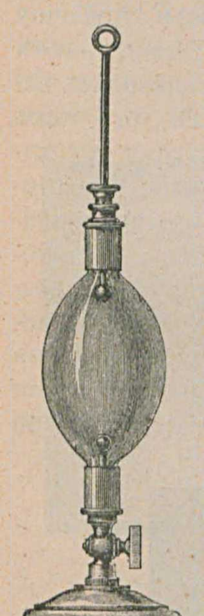
IV. Явленія, сопровождающія разрядъ въ газахъ малой упругости.

§ 1. **Свѣченіе разрѣженныхъ газовъ.** Мы уже знакомы съ использованіемъ электрической энергіи, какъ источника полученія свѣта (ч. III, гл. XIV, §§ 1—9) и знаемъ, что при этомъ происходитъ трансформація электрической энергіи въ тепловую, свѣтъ же является слѣдствіемъ накаливанія проводниковъ тока. Теперь намъ предстоитъ ознакомиться съ другимъ источникомъ свѣтовыхъ волнъ, какъ ощущаемыхъ непосредственно глазомъ, такъ и могущихъ быть обнаруженными лишь косвеннымъ путемъ *). Волны эти вызываются перемѣнными токами значительной частоты и высокаго напряженія, проходящими черезъ газы, имѣющіе весьма незначительную упругость. Газы при прохожденіи черезъ

*) Умѣстно вспомнить, что при разложеніи бѣлаго свѣтового луча спектроскопомъ, помимо видныхъ цвѣтныхъ свѣтовыхъ лучей, спектръ продолжается какъ за красными, такъ и за фіолетовыми лучами. Лучи инфракрасные занимаютъ по длинѣ протяженіе, въ 6 разъ превосходящее протяженіе видимой части спектра, а ультрафіолетовые въ 2 раза. Первые обнаруживаются по ихъ тепловому, а вторые по химическому дѣйствію.

нихъ такихъ токовъ начинаютъ свѣтиться, а при достаточной степени разрѣженія въ нихъ возникаютъ особые лучи, которые, вѣроятно, должны имѣть мѣсто за ультрафіолетовыми, т. е. имѣть длину волнъ болѣе короткую, чѣмъ послѣдніе *).

§ 2. **Явленія, происходящія въ гейслеровыхъ трубкахъ.** Сухой воздухъ при нормальномъ давленіи представляетъ значительное сопротивленіе прохожденію электрическаго тока (непроводникъ). Разрядъ между кондукторами, раздѣленными слоемъ воздуха всего въ 1 мм., требуетъ разности потенціаловъ около 5000 вольтъ (ч. II, гл. II, § 4). Но и въ этомъ случаѣ видъ искры показываетъ, что разрядъ происходитъ не по кратчайшему разстоянію, а что электрическій токъ избираетъ путь наименьшаго сопротивленія, пользуясь при переносѣ электричества съ одного кондуктора на другой пылинками, плавающими въ воздухѣ. Характеръ разряда совершенно мѣняется, когда токъ высокаго напряженія проходитъ черезъ воздухъ или другой газъ, упругость котораго значительно меньше одной атмосферы.


Рис. 262.

Наблюденіе измѣненія характера разряда въ газахъ производится въ электрическомъ яйцѣ и трубкахъ, содержащихъ газы, имѣющіе весьма малую упругость.

Электрическимъ яйцомъ называютъ полый внутри стеклянный эллипсоидъ вращенія (рис. 262), внутрь котораго введенъ металлическій разрядникъ съ остріями. Верхній стержень разрядника проходитъ черезъ плотно прилегающую къ нему втулку и можетъ быть приближенъ къ нижнему стержню или удаленъ отъ него. Оба стержня находятся въ контактѣ съ наружными металлическими частями прибора и могутъ быть соединены проводниками съ полюсами источника тока. Подставка прибора имѣетъ гладкую нижнюю поверхность, которая притирается къ диску воздушнаго насоса. Сквозь подставку проходитъ отверстіе внутрь прибора съ краномъ для сообщенія и разобщенія съ наружнымъ воздухомъ. Установивъ приборъ на тарелкѣ насоса и открывъ кранъ, выкачиваютъ воздухъ при сближенныхъ остріяхъ разрядника, соединеннаго съ дѣйствующей спиралью Румкорфа или электростатической машиной, дающей искру не менѣе 5 см. При опредѣленномъ разстояніи между остріями искра въ воздухѣ нормальной упругости перестаетъ проскакивать. Приводятъ въ дѣйствіе насосъ и замѣчаютъ, что по мѣрѣ пониженія упругости до 400 мм. разстояніе, нужное для прекращенія искры, возрастаетъ, а затѣмъ искровый разрядъ не происходитъ даже и при сближенныхъ остріяхъ. При дальнѣйшей работѣ насоса наступаетъ своеобразная картина свѣтового разряда, сводящаяся при 8 мм. упругости газа (дальнѣйшее разрѣженіе не получается, такъ какъ воздухъ проникаетъ внутрь прибора) къ розовому сіянію около анода и свѣтло-голубому

*) Длина свѣтовыхъ волнъ крайнихъ красныхъ лучей 0,760 микрона, фіолетовыхъ 0,395. Волны инфракрасныхъ лучей, имѣющія длину большую длины красныхъ, и волны ультрафіолетовыхъ, длина которыхъ меньше длины волнъ фіолетоваго свѣта, хотя и не ощущаются глазомъ, называются свѣтовыми волнами. Онѣ подобно ощущаемымъ органомъ зрѣнія волнамъ способны отражаться, преломляться, интерферировать и поляризоваться.

свѣченію катода. Свѣтъ у катода замѣтенъ лишь на небольшомъ отъ него разстояніи, тогда какъ анодное сіяніе доходитъ почти до противоположнаго полюса.

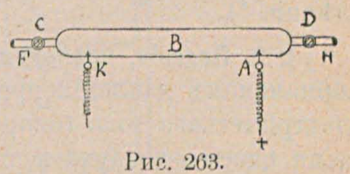


Рис. 263.

Гассіо (1854 г.), а затѣмъ *Плюккеръ* (1858 г.) изучили явленія, происходящія при дальнѣйшемъ разрѣженіи газа. Для наблюденія этихъ явленій пользуются стеклянными трубками *B* (рис. 263) съ вплавленными въ нихъ платиновыми электродами *A* и *K* и соединенными отростками *F* и *H* съ ртутнымъ насосомъ и вмѣстилищемъ газа. Открывъ кранъ *D*, выкачиваютъ воздухъ изъ трубки *B*, измѣряя манометромъ его упругость. Когда разрѣженіе дойдетъ до требуемой степени, закрываютъ кранъ *D* и черезъ провода *A* и *K* пропускаютъ перемѣнный токъ спирали Румкорфа. Какъ источникомъ тока, можно пользоваться и электростатической машиной, но практически спираль Румкорфа значительно удобнѣе. Въ случаяхъ, когда желаютъ наблюдать явленія не въ воздухѣ, а въ другихъ газахъ, воздухъ изъ трубки *B* совершенно выкачиваютъ, соединяютъ трубочку *F* съ вмѣстилищемъ взятаго для опыта газа и, открывая кранъ *C*, наполняютъ этимъ газомъ трубку *B*. Разрѣженіе газа до желаемой степени производятъ насосомъ, какъ описано выше. Подобныя трубки, но запаянныя, послѣ того какъ газъ, ихъ наполняющій, въ значительной мѣрѣ разрѣженъ, называются трубками *Гейслера* по имени искуснаго боннскаго стеклодува, впервые ихъ приготовившаго. *Гейслеровымъ трубкамъ* для большей демонстративности опыта придаютъ различныя, часто весьма сложныя, формы (рис. 264). Электроды въ трубкахъ настолько удалены одинъ отъ другого, что при нормальной упругости воздуха, наполняющаго трубку (760 мм.), искры между ними не получается. Пониженіе упругости до 50 мм. вызываетъ при пропусканіи тока появленіе вблизи электродовъ слабо свѣтящихся фіолетово-голубоватыхъ лучей, усиливающихся съ дальнѣйшимъ разрѣженіемъ воздуха или газа, наполняющаго трубку. При

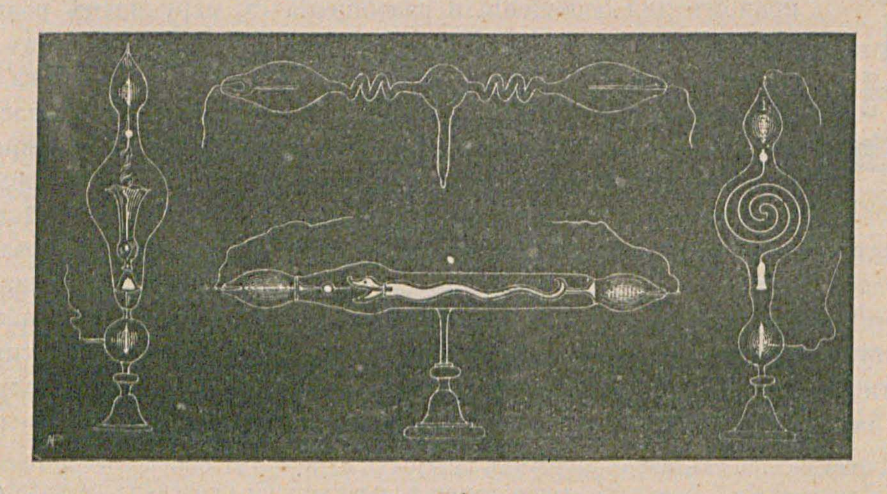


Рис. 264

8—6 мм. лучи сливаются въ фіолетовую полосу, соединяющую электроды, а при разрѣженіи въ 3—1 мм. вся трубка заполняется фіолетовымъ свѣтомъ, слѣду-

ющимъ по всѣмъ изгибамъ трубки и раздѣленнымъ на тонкіе дрожащіе слои. Около катода свѣтъ голубоватый. Фіолетовый анодный свѣтъ не доходитъ до него вплотную, отдѣляясь темнымъ пространствомъ.

§ 3. Открытіе Гитторфа. *Гитторфъ*, въ 1869 г., обнаружилъ, что при дальнѣйшемъ уменьшеніи упругости газа въ гейслеровой трубкѣ темное пространство, раздѣляющее анодный и катодный свѣтъ, растетъ. При неперестающемъ разрѣженіи газа темное пространство заполняетъ всю внутренность трубки, свѣченіе около электродовъ перестаетъ быть видимымъ. Параллельно съ возрастаніемъ темнаго пространства между электродами возникаетъ и усиливается фосфоресценція стекла, изъ котораго выдута трубка. Фосфоресценція эта особенно сильна въ части трубки, противолежащей катоду.

Тѣ невидимые лучи, которые вызываютъ фосфоресценцію стекла въ томъ мѣстѣ, гдѣ они падаютъ на его поверхность, названы Гитторфомъ *катодными лучами*.

§ 4. Явленія въ трубкахъ Крукса. Въ 1879 г. *Круксъ* изслѣдовалъ найденные Гитторфомъ лучи. Для изученія ихъ Круксъ выработалъ особую конструкцію трубокъ, сохранившую его имя (рис. 265—266 и соотвѣтствующія имъ схемы 267 и 268). Разрѣженіе въ трубкахъ Крукса можетъ быть доведено до 0,001 мм. Анодами служатъ платиновые стер-

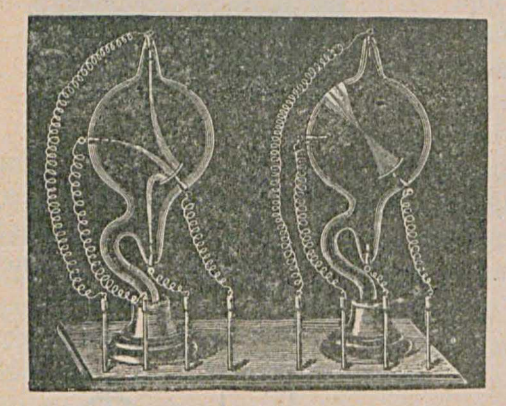


Рис. 265. Рис. 266. Рис. 267. Рис. 268.

женьки A_1, A_2, A_3, впаянные въ различныхъ мѣстахъ, а не только противъ катода K. Послѣднему придана форма вогнутаго зеркальца B. Помощью отростка M трубка при опытахъ съ нею закрѣпляется въ подставкѣ.

Пока разрѣженіе газа въ трубкѣ не менѣе нѣсколькихъ миллиметровъ, видимые лучи внутри трубки образуютъ дуги BA_1, BA_2, BA_3 (рис. 267); когда же разрѣженіе достигнетъ приблизительно 0,01 мм., то невидимые катодные лучи собираются въ фокусѣ F зеркальца-катода и, распространяясь прямолинейно (какъ свѣтовые лучи), падаютъ на стекло противъ катода независимо отъ положенія электрода, соединеннаго съ положительнымъ полюсомъ (рис. 268). Стекло трубки ярко фосфоресцируетъ различными, преимущественно зеленоватыми, оттѣнками въ зависимости отъ своего химическаго состава. Для доказательства прямолинейности распространенія катодныхъ лучей и неспособности ихъ проникать черезъ непрозрачныя вещества, взятыя въ неособенно тон-

кихъ слояхъ *), пользуются трубкой, устроенной нѣсколько иначе (рис. 269). Какъ и въ описанной трубкѣ, катодъ K оканчивается металлическимъ вогнутымъ зеркальцемъ B, имѣющимъ главный фокусъ въ точкѣ F. На стойкѣ D закрѣпленъ металлическимъ крючкомъ, соединеннымъ съ анодомъ A, металлическій крестикъ (или другая фигура) C. Катодные лучи, направляясь изъ главнаго фокуса F, встрѣчаютъ на пути крестикъ C и задерживаются имъ. Сзади него на стеклянной стѣнкѣ трубки появляется его тѣнь, ограничивающая нефосфоресцирующую часть поверхности, тогда какъ вокругъ стекла трубка ярко свѣтитъ. Различныя природныя и искусственно приготовленныя сложныя химическія соединенія, помѣщенныя внутри трубки на пути распространенія катодныхъ лучей, также фосфоресцируютъ разнообразными цвѣтами, представляя выдающееся по красотѣ зрѣлище **). Фотографическая пластинка, подверженная дѣйствію катодныхъ лучей (внутри трубки), реагируетъ на нихъ, какъ на свѣтовыя. Кромѣ того, лучи эти, какъ замѣтилъ Гитторфъ, оказываются способными отклоняться отъ прямолинейнаго направленія магнитомъ. Для наблюденія вліянія магнита на катодные лучи въ трубкѣ Крукса ставятъ противъ зеркальца B металлическій экранъ C (рис. 270) съ прорѣзанной въ немъ узкой щелью E. Къ экрану прикрѣплена слюдяная пластинка D, покрытая сильно фосфоресцирующимъ веществомъ (платиновосинеродистымъ баріемъ). При прохожденіи въ трубкѣ катодныхъ лучей на пластинкѣ появляется фосфоресцирующая полоска H. Если поднести къ трубкѣ магнитъ NS такъ, чтобы направленіе силовыхъ линій его было перпендикулярно къ направленію катодныхъ лучей, то послѣдніе отклонятся (рис. 271), какъ отклоняется подвижный токъ, имѣющій то же направленіе

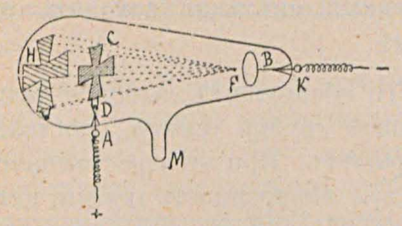


Рис. 269.

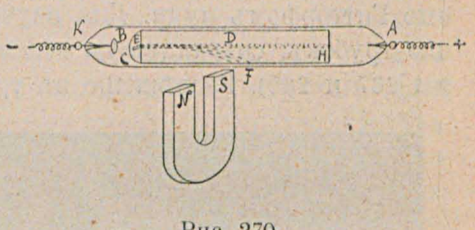


Рис. 270.

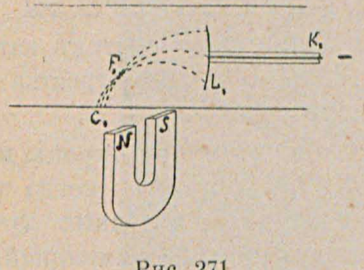


Рис. 271.

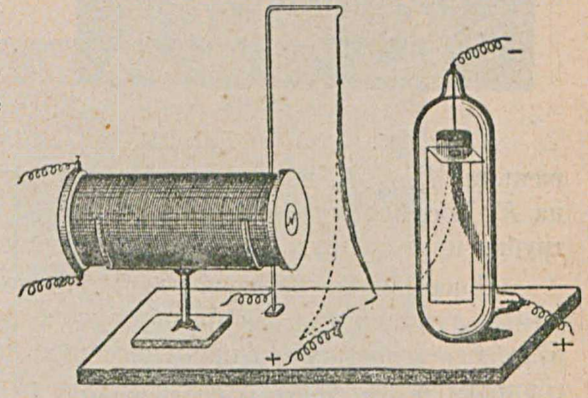


Рис. 272.

*) Понятіе о тѣлахъ прозрачныхъ и непрозрачныхъ (для видимыхъ свѣтовыхъ лучей) весьма условно. Можно получить настолько тонкій слой золота, что сквозь него будетъ проникать зеленоватый свѣтъ. Обратно, вода при достаточной толщинѣ слоя совершенно не пропускаетъ свѣтовыхъ лучей.

**) См. приложенную хромолитографію: „Свѣтовыя явленія въ разрѣженныхъ газахъ", заимствованную, съ любезнаго разрѣшенія издателей, изъ прекрасной книги В. Мейера: „Жизнь природы".

(рис. 272). Обнаружить новое направленіе лучей можно по перемѣщенію свѣтящейся полосы *H* въ новомъ направленіи *EF*. Далѣе Гитторфъ обнаружилъ переходъ того вида энергіи, который является причиной катодныхъ лучей, въ теплоту. Лучи, отклоненные магнитомъ, падая на стекло въ *C*, нагрѣваютъ его до размягченія. Если же въ главномъ фокусѣ катода (рис. 273 и 274) поставить металлическую пластинку *H*, то она накаляется и даже плавится падающими на нее катодными лучами. Явленіе замѣчается какъ тогда, когда пластинка *H* соединена съ анодомъ *M*, такъ и въ томъ случаѣ, если анодъ *A*, имѣющій форму плоскаго диска *B*, не соединенъ съ пластинкой. Круксъ открылъ еще одно свойство катодныхъ лучей, оставшееся необнаруженнымъ Гитторфомъ: производить механическую работу.

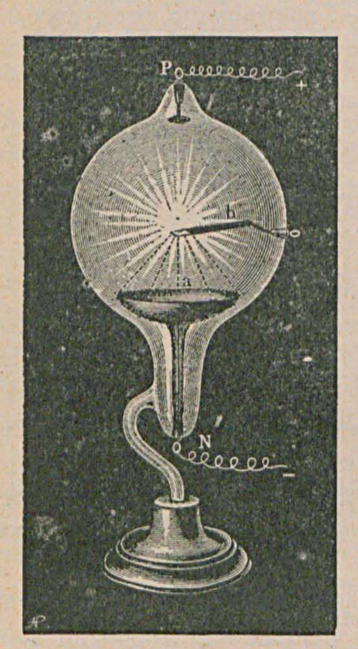


Рис. 273.

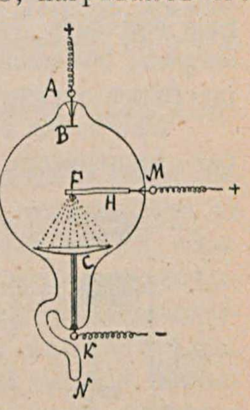


Рис. 274.

Устанавливая въ трубкѣ (рис. 275) на стеклянныхъ палочкахъ *H*, служащихъ рельсами, легкоподвижное колесико, приводятъ его въ движеніе въ направленіи отъ *C* къ *B*. *Герцъ* показалъ, что тѣла, прозрачныя для видимыхъ свѣтовыхъ лучей, не пропускаютъ лучей катодныхъ, тогда какъ весьма тонкія металлическія пластинки не задерживаютъ ихъ прохожденія. *Ленаръ*, основываясь на этомъ наблюденіи, вывелъ катодные лучи изъ внутренняго пространства трубки наружу. Для этого онъ устроилъ въ томъ мѣстѣ трубки, гдѣ на нее падаютъ катодные лучи, т. н. алюминіевое окно, т. е. помѣстилъ листочекъ алюминія настолько тонкій, что лучи проходили сквозь него, но въ тоже время могущій не разрушаясь выдерживать разность давленій внутри и внѣ трубки. Оказалось, что катодные лучи, возникающіе только въ сильно разрѣженномъ пространствѣ, могутъ продолжать распространяться въ воздухѣ, имѣющемъ нормальную упругость, но послѣдній оказываетъ этому распространенію значительное препятствіе. Согласно ученію Крукса катодные лучи представляютъ *матеріальный потокъ* электроновъ, несущихъ отрицательный зарядъ. Для анодныхъ лучей въ 1907 г. *Герке* и *Рейхенгеймомъ* было обнаружено при условіяхъ, способствующихъ ихъ усиленію (анодъ трубки изъ летучей соли щелочныхъ металловъ), что и они являются матеріальнымъ потокомъ атомовъ металла, обладающихъ положительнымъ зарядомъ.

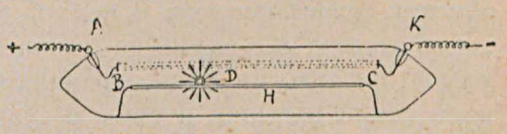


Рис. 275.

§ 5. Свѣтъ Мура. Возможность практическаго примѣненія разрядовъ въ газахъ малой упругости для цѣлей электрическаго освѣщенія показалъ въ концѣ 80-хъ годовъ *Н. Тесла*. Его ученикъ, *Макъ-Ферланъ-Муръ*, въ 1898 году, демонстрировалъ разработанный имъ способъ освѣщенія, названный его именемъ. Од-

нако, лишь съ 1911 года способъ Мура смогъ войти въ практику, когда была разрѣшена задача автоматическаго поддерживанія равномѣрности разрѣженія внутри трубки, которая становилась съ теченіемъ времени болѣе „жесткой", т. е. усиливала сопротивленіе прохожденію тока. Это уменьшеніе проводимости газа являлось слѣдствіемъ увеличенія степени его разрѣженія, что, въ свою очередь, объясняется соединеніемъ газа подъ вліяніемъ разрядовъ тока съ веществомъ электродовъ.

Установка освѣщенія по способу Мура состоитъ изъ первичной цѣпи низкаго напряженія, перемѣннаго тока, далѣе изъ трансформатора *т* перемѣннаго тока, затѣмъ изъ вторичной цѣпи перемѣннаго тока или цѣпи высокаго напряженія, заключающей и трубку Мура -*М* (рис. 276), и, наконецъ, изъ регулятора давленія внутри трубки Мура -*р* Простой перемѣнный токъ, примѣняющійся для освѣщенія квартиръ, низкаго напряженія (напр. 110 вольтъ) подводится къ трансформатору *т* для преобразованія въ перемѣнный же токъ высокаго напряженія 16000 до 20000 вольтъ. Цѣпь тока низкаго напряженія замыкается и размыкается имѣющимся въ ней двуполюснымъ рубильникомъ. Первичный токъ проходитъ послѣдовательно черезъ обмотку трансформатора и черезъ два соленоида (катушки) K_1 и K_2.

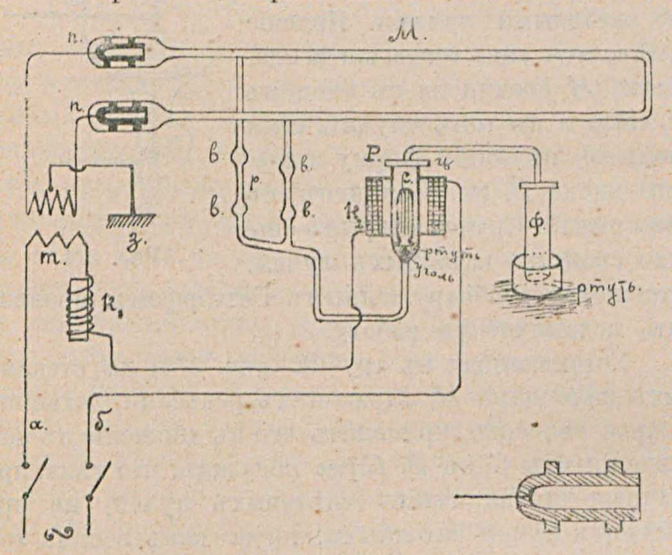


Рис. 276.

Катушка K_1 снабжена скользящимъ контактомъ, дающимъ возможность удобно вводить въ цѣпь первичнаго тока большее или меньшее количество витковъ самой катушки и тѣмъ регулировать, какъ силу перемѣннаго тока, такъ и вліять на его характеръ (на форму кривой перемѣннаго тока). Вторая же катушка K_2 составляетъ часть того регулятора давленія внутри трубки Мура, о которомъ мы упомянули выше. Если по какой-либо причинѣ перемѣнный токъ первичной цѣпи сталъ бы увеличиваться или уменьшаться, то и катушки K_1,K_2 будутъ мѣнять соотвѣтственно силу втягиванія въ себя сердечниковъ. Вторичная обмотка трансформатора,—обмотка высокаго напряженія, питаетъ токомъ трубку Мура; поэтому оба конца этой обмотки подведены къ обоимъ концамъ трубки Мура или къ ея полюсамъ *п*. Полюсы трубки Мура представляютъ собою пустотѣлые угольные стержни діаметра большаго, чѣмъ обыкновенный діаметръ трубки Мура, и поэтому, чтобы ихъ вмѣстить внутри замкнутаго пространства трубки, самые концы ея расширены,

Эти угольные полюсы должны имѣть большую поверхность. Дѣло въ томъ, что токъ въ мѣстѣ перехода изъ металлическаго провода въ проводникъ газообразный, въ содержащійся въ трубкѣ *М* разрѣженный газъ, встрѣчаетъ большое сопротивленіе и поэтому на концахъ платиновыхъ проволокъ, впаянныхъ въ

стекло, пришлось насадить угольные стержни съ большою поверхностью, чтобы уменьшить по возможности сопротивленіе току.

Далѣе путь вторичнаго тока—черезъ разрѣженный газъ, заключающійся внутри трубки *М*. Токъ это дѣлаетъ не съ легкостью, такъ какъ для того, чтобы провести около 0,2 ампера черезъ трубку длиною около 30 метровъ, къ концамъ ея приходится приложить уже упомянутое высокое напряженіе въ 16000 вольтъ.

Отсюда видно, что требующійся вольтажъ будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ длиннѣе сама трубка Мура.

Длина же трубки, въ свою очередь, зависитъ отъ того, сколько свѣта желательно получить и черезъ сколько помѣщеній она будетъ протянута. Тутъ же замѣтимъ, что съ каждаго погоннаго метра трубки получаются 48—58 норм. свѣчей, или, иначе говоря, съ $^1/_3$ метра получается такое же количество свѣта, какъ и отъ 16 свѣчной лампочки накаливанія. Вся длина трубки Мура составляется изъ отдѣльныхъ трубокъ, длиною въ $1^1/_2$ метра каждая, и діам. 55 милим. Отдѣльныя части спаиваются между собой особой двусторонней газовой горѣлкой. Разрѣженіе внутри трубки доводится до весьма высокой степени, а именно до одной десятитысячной атмосфернаго давленія, что достигается особымъ масляным насосомъ. Выкачиваніе газа изъ трубки занимаетъ довольно продолжительное время, отъ 4 до 10 часовъ, и самую работу качанія возлагаютъ на небольшой (въ нѣсколько силъ) электродвигатель, установленный на переносномъ станкѣ вмѣстѣ съ насосомъ.

Вблизи 0,0001 атмосферы существуетъ своего рода максимумъ проводимости. Слѣдовательно, для хорошаго дѣйствія свѣтовой установки нужно не только довести разрѣженіе внутри трубки Мура до 0,0001 атмосферы, но необходимо и впредь удерживать на этой высотѣ. Эта задача возложена на спеціальный регуляторъ—*р*.

Все устройство регулируется такъ, чтобы при уменьшеніи давленія внутри трубки Мура токъ, проходящій черезъ нее, возрасталъ. Тогда возрастаетъ и токъ въ первичной цѣпи и усилится соленоидъ K_2, каковой сильнѣе будетъ втягивать внутрь себя желѣзный сердечникъ *с*. Этому втягиванію сердечника *с* соотвѣтствуетъ впускъ нѣкотораго количества свѣжаго газа въ трубки Мура; происходитъ это слѣдующимъ образомъ. Сосудъ *ф* содержитъ необходимый газъ и онъ же содержится въ цилиндрѣ *ц*, соединенномъ съ *ф* трубкой. На днѣ цилиндра *ц* находится пористое, по всей вѣроятности угольное, тѣло, покрытое отчасти небольшимъ количествомъ ртути. При чемъ, когда при ослабленіи тока желѣзный сердечникъ, обнимаемый склянкой съ внизъ обращеннымъ горлышкомъ, опускаетъ края горлышка въ ртуть, то уровень ея повышается, угольный конусъ покроется ртутью и доступъ газа изъ цилиндра *ц* въ трубку Мура черезъ тонкую трубочку прекращается. При усиленіи тока сердечникъ *с* втягивается вверхъ въ катушку, горлышко опрокинутой склянки выйдетъ изъ ртути, конусъ откроетъ верхушку и газъ подъ разностью давленій въ цилиндрѣ *ц* и трубкѣ Мура будетъ проходить внутрь трубки, пока токъ снова не уменьшится и стержень *с* не опустится снова внизъ; такимъ образомъ регуляторъ, слѣдя за пульсаціями тока, исполняетъ свою задачу—удерживать разрѣженіе постояннымъ въ извѣстныхъ предѣлахъ.

Если трубка Мура содержитъ азотъ, то въ сосудъ *ф* кладется фосфоръ. Послѣдній изъ воздуха поглощаетъ кислородъ, оставляя азотъ. Дно сосуда *ф* открытое и опущено въ чашечку съ ртутью, чтобы и внутри сосуда было атмосферное давленіе, дѣйствующее на поверхность ртути. Регуляторъ соединенъ тонкими трубками съ обоими концами трубки Мура и, чтобы токъ не замкнулся накоротко черезъ тонкія трубки, онѣ между пробками со стеклянной ватой *в* наполнены кварцевымъ пескомъ. Тогда токъ вовсе не проходитъ черезъ нихъ, и онѣ не свѣтятся. Монтировка трубокъ производится на легкихъ деревянныхъ розеткахъ со стерженькомъ съ изоляторомъ на концѣ. Прикосновеніе къ трубкамъ абсолютно безопасно и, если трубка даже лопнетъ, то токъ сразу прекращается и стеклянные концы трубки безопасны. Опасное же напряженіе вторичной обмотки трансформатора съ одной стороны заземлено, а съ другой всѣ показанныя на чертежѣ части установки, равно концы трубки Мура *т*, монтируются въ желѣзномъ ящикѣ небольшихъ размѣровъ. Самъ же ящикъ устанавливается высоко на стѣнѣ внутри помѣщенія или даже снаружи зданія *).

На всю установку есть только одинъ выключатель въ первичной цѣпи.

Теоретически трубка можетъ работать вѣчно. У самого изобрѣтателя имѣются трубки, работавшія безпрерывно по 10000 часовъ. Расходъ энергіи довольно значителенъ, достигая 2,6 уатта на свѣчу, но практически преимущество экономичныхъ лампъ накаливанія не столь значительно по сравненію съ свѣтомъ Мура, такъ какъ въ нихъ приходится пользоваться не всѣмъ свѣтомъ, даваемымъ накаленной нитью, защищая лампу абажуромъ или матовымъ стекломъ для уменьшенія яркости сосредоточеннаго свѣта. *Ж. Клодтъ* предложилъ дальнѣйшее усовершенствованіе способа Мура, замѣнивъ азотъ или угольный ангидридъ *неономъ* **), дающимъ золотисто-желтый пріятный для глазъ свѣтъ и позволяющимъ уменьшить расходъ энергіи.

§ **6. Лучи Рентгена.** Въ 1896 г. *В. Рентгенъ* случайно обнаружилъ, что фосфоресцирующій экранъ, помѣщенный передъ трубкой Крукса, свѣтится, когда на него падаетъ свѣтъ отъ фосфоресцирующей части трубки ***). Для рѣшенія вопроса, какіе лучи заставляютъ свѣтиться экранъ: видимые свѣтовые, исходящіе отъ фосфоресцирующаго стекла, или невидимые глазомъ, проходящіе изнутри трубки въ окружающій воздухъ, Рентгенъ обвернулъ трубку чернымъ сукномъ. Какъ въ этомъ случаѣ, такъ и при помѣщеніи между трубкой и экраномъ деревянной доски, платиново-синеродистый барій продолжалъ фосфоресцировать, а фотографическая пластинка, поставленная на мѣстѣ экрана, при проявленіи чернѣла. Рука, помѣщенная на пути лучей, отбрасывала на экранъ слабую тѣнь, внутри

---

*) Случай, происшедшій въ Петербургѣ, въ 1911 г., когда при устройствѣ освѣщенія по способу Мура былъ токомъ высокаго напряженія убитъ инженеръ *Вреде*, имѣлъ мѣсто при пробахъ, когда трансформаторъ еще не былъ поставленъ.

**) *Неонъ*—рѣдкій элементъ, атомнаго вѣса 20, въ ничтожномъ количествѣ находящійся въ атмосферѣ, откуда и добывается фракціонной перегонкой жидкаго воздуха.

***) Пріоритетъ открытія этого явленія Рентгеномъ сомнителенъ. За нѣсколько лѣтъ до обнародованія имъ своихъ наблюденій *Е. С. Каменскій* дѣлалъ фотографическіе снимки при помощи, какъ онъ ихъ называлъ, фото-химическихъ лучей, не придавая значенія своему открытію. Съ другой стороны *Н. Тесла* утверждаетъ, что ему помѣшалъ опередить Рентгена пожаръ, случившійся въ его лабораторіи, при которомъ сгорѣли приборы, служившіе для аналогичныхъ изслѣдованій.

которой видно болѣе темное очертаніе костей. Рентгенъ назвалъ этотъ новый родъ лучей *X-лучами*; впослѣдствіи же ихъ назвали его именемъ. *Лучи Рентгена*, какъ оказалось при дальнѣйшемъ изслѣдованіи ихъ свойствъ, легко проходятъ черезъ тѣла, непрозрачныя для свѣтовыхъ лучей. Приблизительно проницаемость различныхъ веществъ въ слояхъ разной толщины обратно пропорціональна ихъ плотности. Хотя преломленіе и отраженіе лучей Рентгена не обнаружены, но способность ихъ къ диффракціи *) не оставляетъ сомнѣнія въ общности ихъ природы съ лучами свѣта. Вычислено, что длина волны рентгеновскихъ лучей менѣе $^1/_{15}$ длины волнъ крайнихъ ультрафіолетовыхъ лучей. Магнитомъ рентгеновскіе лучи не отклоняются. Падая на селенъ, они уменьшаютъ его сопротивленіе прохожденію тока, какъ видимые свѣтовые.

По другому воззрѣнію лучи Рентгена разсматриваются, какъ электромагнитные импульсы, возникающіе при ударѣ электроновъ катодныхъ лучей объ антикатодъ. Ударамъ электроновъ соотвѣтствуетъ мгновенное прекращеніе тока, вызывающее электромагнитную индукцію. Согласно этому послѣднему взгляду лучи Рентгена не имѣютъ опредѣленной длины волны.

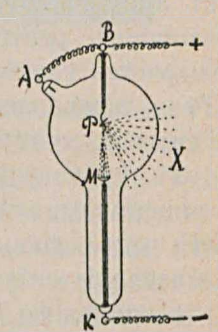
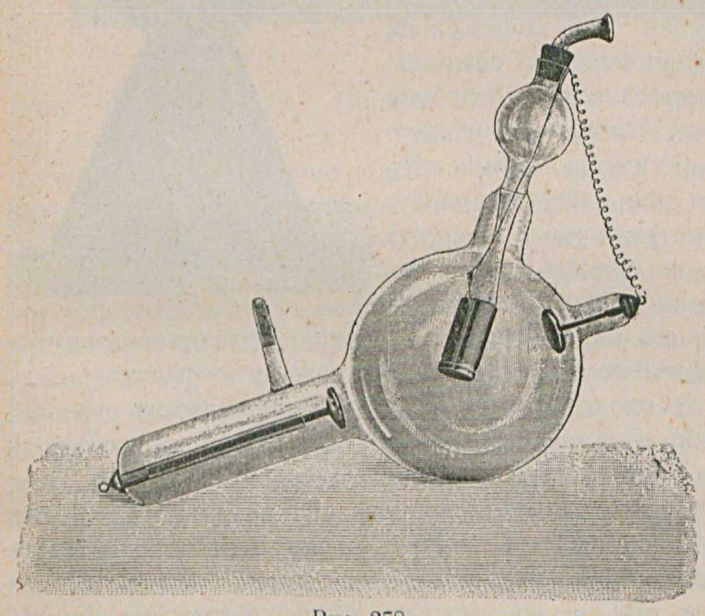


Рис. 277.


Рис. 278.

Для практическаго пользованія лучами Рентгена сконструированы особыя измѣненныя круксовскія трубки. Устройство ихъ основано на томъ, что платина, подверженная дѣйствію катодныхъ лучей, испускаетъ лучи Рентгена въ большей степени, чѣмъ стекло. Катодъ трубки Рентгена (рис. 277) соединенъ съ вогнутымъ металлическимъ зеркальцемъ *M*, сосредотачивающимъ катодные лучи на платиновомъ антикатодѣ *P*, который соединенъ съ анодомъ *A* проводникомъ *AB*. Катодные лучи, отразившись отъ платиноваго диска *P*, даютъ начало X-лучамъ Рентгена, расходящимся радіально почти изъ одной точки.

Трубки съ большой степенью разрѣженія, жесткія, имѣютъ большое сопротивленіе, но въ большей степени развиваютъ лучи Рентгена. Рис. 278 изображаетъ такую жесткую трубку. Ея антикатодъ не даетъ разсѣиваться лучамъ, а

*) Уклоненіе свѣтового луча отъ прямолинейнаго направленія у края непрозрачнаго тѣла.

направляетъ ихъ узкимъ пучкомъ въ опредѣленномъ направленіи. Антикатодъ этотъ вплавленъ въ открытую снаружи стеклянную пробирку, въ которую наливаютъ воду для охлажденія антикатода, сильно нагрѣвающагося во время работы трубки. Кромѣ того, внутрь трубки вплавляютъ проволоку изъ палладія *). Когда трубка станетъ слишкомъ жесткой, эту проволоку накаливаютъ въ пламени, и она, оклюзируя водородъ продуктовъ горѣнія, проводитъ его внутрь трубки, понижая тѣмъ ея сопротивленіе прохожденію тока.

§ 7. **Рентгенизація и радіографія.** Для разсматриванія тѣневого изображенія внутренняго строенія непрозрачнаго предмета его помѣщаютъ передъ рентгеновской трубкой на пути лучей, исходящихъ отъ антикатода, а между нимъ и наблюдателемъ ставятъ фосфоресцирующій экранъ лицевой стороной къ наблюдателю. Для устраненія вліянія свѣтовыхъ лучей экранъ, покрытый платиновосинеродистымъ баріемъ, служитъ дномъ ящика, имѣющаго форму, придаваемую обычно стереоскопамъ. Сверху такой ящичекъ, носящій названіе *криптоскопа* (рис. 279), открытъ и можетъ быть плотно прижатъ къ лицу наблюдателя, смотрящаго внутрь его. Подъ вліяніемъ рентгеновскихъ лучей дно криптоскопа озаряется голубоватымъ фосфорическимъ свѣтомъ. Тѣло, помѣщенное между криптоскопомъ и трубкой Рентгена, менѣе прозрачное для X-лучей, чѣмъ воздухъ, производитъ ослабленіе свѣченія экрана. Въ зависимости отъ большей или меньшей проницаемости отдѣльныхъ частей разсматриваемаго предмета ослабленіе свѣченія экрана тоже происходитъ не вездѣ одинаково. Наблюдатель видитъ не силуэтъ предмета, не однотонную проекцію его на поверхность экрана, а различаетъ внутри такого очертанія участки различной яркости. Если, напримѣръ, разсматривать въ криптоскопъ кисть руки съ проникшимъ внутрь нея инороднымъ тѣломъ, какъ это впервые было сдѣлано *Видентопфомъ*, то на экранѣ увидимъ свѣтлый силуэтъ руки, внутри же его болѣе темное очертаніе кости и еще болѣе темное очертаніе пули, иглы и т. п. предмета, попавшаго внутрь руки. Такое наблюденіе, *рентгенизація*, даетъ возможность хирургу обнаружить мѣстонахожденіе инороднаго тѣла, которое надо удалить изъ организма. Переломы костей, внутреннія опухоли и пр. также могутъ быть наблюдаемы при помощи рентгенизаціи, оказавшей уже не малыя услуги хирургамъ. Аппараты для рентгенизаціи большой мощности позволяютъ не ограничиваться субъективнымъ разсмотрѣніемъ отдѣльныхъ органовъ въ криптоскопъ, но даютъ возможность отбросить на экранъ достаточной величины и сдѣлать видимымъ цѣлой аудиторіи изображеніе скелета и внутренностей живого человѣка.

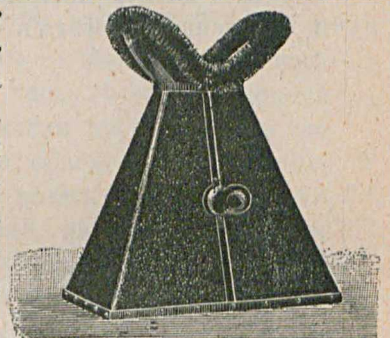


Рис. 279.

Принимая лучи Рентгена, прошедшіе сквозь изслѣдуемый предметъ, на фотографическую пластинку, получаютъ, проявивъ ее, какъ это дѣлается послѣ обыкновеннаго фотографированія, тѣневое изображеніе предмета. Изображеніе

*) *Палладій*—рѣдкій металлъ группы платины, атомнаго вѣса 106,5, соединяющійся при накаливаніи съ водородомъ.

на пластинкѣ будетъ негативнымъ, т. е. наиболѣе свѣтлымъ въ мѣстахъ, не подвергавшихся дѣйствію лучей, и тѣмъ болѣе темнымъ, чѣмъ сильнѣе

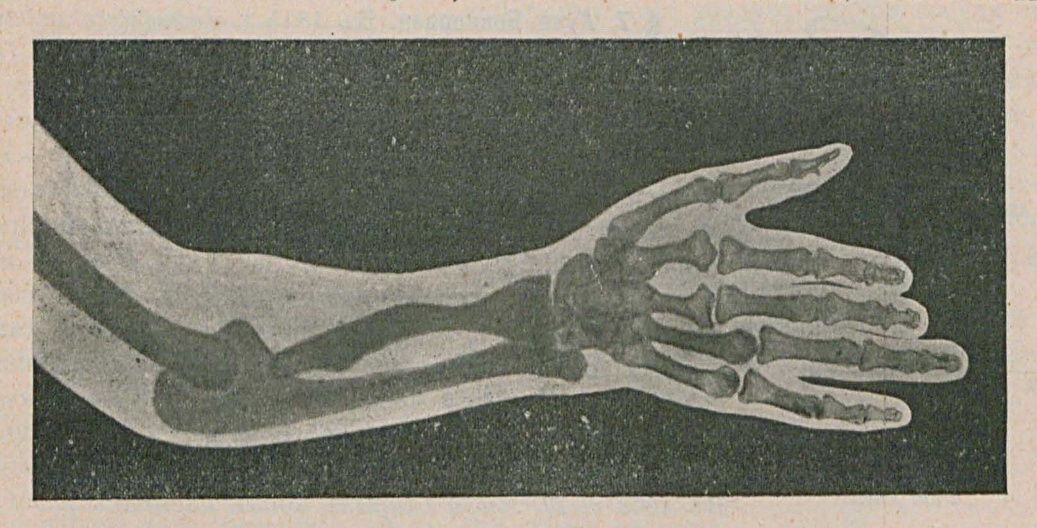


Рис. 280.

было ихъ дѣйствіе. Печатая съ такого негатива позитивъ, наблюдаютъ на немъ подробности и градаціи свѣто-тѣни, ускользающія при непосредственномъ разсматриваніи изображенія на экранѣ, такъ какъ фотографическая пластинка болѣе чувствительна къ воспріятію рентгеновскихъ лучей, чѣмъ платиново-синеродистый барій, покрывающій экранъ. Понятно, что при *радіографіи*, т. е. полученіи на фотографической пластинкѣ изображеній, даваемыхъ лучами Рентгена, фотографическая камера не нужна, а такъ какъ деревянная кассета, въ которой помѣщается фотографическая пластинка, проницаема для этихъ лучей, то радіографированіе производится на полномъ свѣту. Рис. 280 изображаетъ рентгенограмму руки. Въ виду неспособности рентгеновскихъ лучей преломляться радіографическое изображеніе не можетъ быть уменьшеннымъ или увеличеннымъ, а всегда передаетъ радіографируемый предметъ въ его натуральную величину. Увеличеніе и уменьшеніе полученнаго изображенія можетъ быть сдѣлано лишь при помощи обыкновеннаго фотографированія полученнаго негатива или отпечатаннаго съ него позитива. Время экспозиціи при радіографіи зависитъ, какъ отъ силы потока рентгеновскихъ лучей, такъ и отъ чувствительности къ нимъ фотографической пластинки. Независимо отъ этого на время экспозиціи оказываетъ вліяніе и степень проницаемости лучами радіографируемаго предмета. Если источникомъ тока является спираль Румкорфа съ искрой въ 10 см., то для полученія рентгенографіи скелета кисти руки достаточно, въ среднемъ, двухъ минутъ. Съ 1910 года радіографія настолько усовершенствовалась, что даетъ возможность получать моментальные снимки и снимки кинематографическіе, что въ научномъ отношеніи представляетъ значительный интересъ, давая возможность демонстрировать на экранѣ функціонированіе больныхъ и здоровыхъ внутреннихъ органовъ человѣка. Физіологическое дѣйствіе лучей Рентгена при длительномъ ихъ вліяніи выражается воспаленіемъ кожи, сопровождаемымъ образованіемъ трудно излѣчимыхъ язвъ. Жертвою умышленно неосторожнаго обращенія съ этими лучами палъ въ 1904 г. сотруд-

никъ Эдисона, *Далли*. Умѣренное дѣйствіе лучей, наоборотъ, примѣняется при лѣченіи кожныхъ болѣзней.

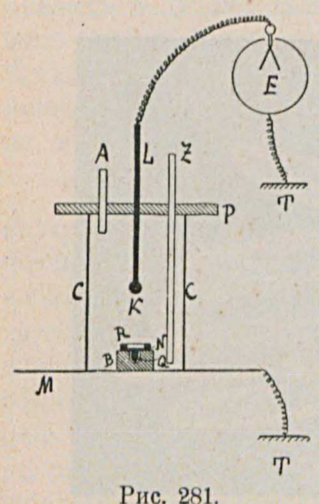
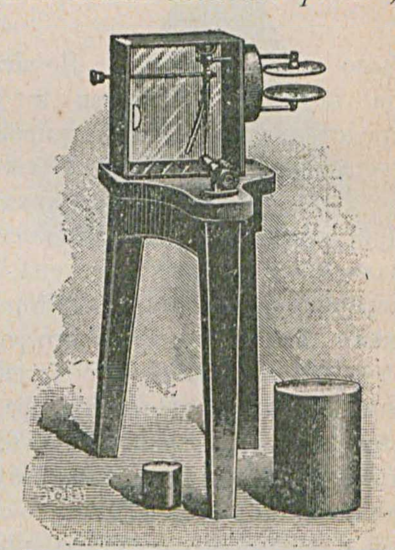


Рис. 281.

§ 7. Лучи Беккереля. Въ 1815 г. *Берцеліусъ* наблюдалъ самосвѣченіе минерала *габолита*, а въ 1867 г. *Ніэпсъ-де-сенъ-Викторъ* писалъ о фотографированіи въ темнотѣ солями урана. Ихъ открытія прошли незамѣченными. Въ 1896 г. *І. Беккерель* открылъ, что соли *урана* [1]) способны самостоятельно, не подвергаясь предварительно дѣйствію катодныхъ лучей, излучать непрерывный потокъ энергіи. Въ слѣдующемъ же году *Шмидтъ* нашелъ, что этой способностью обладаютъ также соли *торія* [2]). Такія вещества названы *радіоактивными*, сама же способность излученія—*радіоактивностью*. Причиною такого процесса является, вѣроятно, *экзотермическая* [3]) реакція распаденія атома [4]) элемента, или элементовъ, входящихъ въ составъ радіоактивнаго вещества. Въ 1898 г. *П. Кюри* открылъ новый элементъ *радій* [5]), обладающій этой способностью въ наивысшей степени. Возможно, что именно его присутствіе въ минимальнѣйшихъ количествахъ, не поддающихся обнаруженію химическимъ анализомъ, служитъ причиною радіоактивности другихъ тѣлъ. Для изслѣдованія степени послѣдней пользуются способностью излучаемыхъ радіоактивными тѣлами лучей дѣлать воздухъ проводникомъ электричества, т. е. разряжать на разстояніи наэлектризованный проводникъ. Первоначально приборъ для опредѣленія степени радіоактивности вещества,—*активометръ*, устроенный *Гизелемъ* (1855 г.), состоялъ изъ металлическаго цилиндра *CC* (рис. 281), поставленнаго на проводящую подставку *M*, соединенную съ землею *T* проводникомъ. Внутри цилиндра помѣщалась свинцовая коробочка *B*, внутрь которой вкладывалось испытуемое вещество *O*. Вещество


Рис. 282.

[1]) *Уранъ*—рѣдкій металлъ группы хрома. Атомн. в. 240; находится въ видѣ кислороднаго соединенія, *смоляной руды*.

[2]) *Торій*—тяжелый металлъ, сходный съ ураномъ, ат. в. 232.

[3]) Реакція, сопровождаемая выдѣленіемъ энергіи. Эндотермическая реакція, обратно, требуетъ для своего совершенія затраты энергіи извнѣ. Вещества, явившіяся результатомъ эндотермической реакціи, будутъ экзотермичны и обратно.

[4]) По новѣйшимъ химическимъ воззрѣніямъ на строеніе вещества атомъ, будучи недѣлимъ съ сохраненіемъ индивидуальности (какъ не дѣлимъ, напр., человѣкъ на два получеловѣка), состоитъ изъ значительнаго числа первичныхъ электроновъ и способенъ къ распаденію на таковые съ образованіемъ изъ нихъ новыхъ атомовъ болѣе простого строенія. Установлено, что атомъ радія распадаясь эманируетъ гелій. Въ самое послѣднее время *Рамзей* произвелъ рядъ опытовъ въ направленіи полученія однихъ элементовъ изъ другихъ. Не является теоретически невозможнымъ осуществленіе мечты средневѣковыхъ алхимиковъ получать не только комбинаціи простыхъ тѣлъ (т. н. химически сложныя тѣла), но и самые элементы.

[5]) Элементъ группы барія, ат. в. 224, находится въ минимальномъ количествѣ въ т. н. *смоляной рудѣ*, изъ тонны которой выдѣляется всего 0,3 гр. бромистаго радія. Въ чистомъ видѣ полученъ въ 1911 году.

прикрывалось латунной крышкой *R*, прижимающей къ нему пробную пластинку *N*. Въ сосудъ черезъ изолирующую крышку *P* опущены для достиженія свободной циркуляціи воздуха внутри сосуда стеклянныя трубки *A* и *Z* и металлическій стержень *KL*, соединенный съ электроскопомъ *E*. Если испытуемое вещество радіоактивно, то листочки предварительно заряженнаго электроскопа по истеченіи нѣкотораго времени опадаютъ. Жена Кюри (урожденная *Склодовская)*, сотрудница въ его изслѣдованіяхъ, усовершенствовала активометръ, придавъ ему видъ, указанный на рис. 282. Испытуемое вещество помѣщалось на нижній дискъ горизонтальнаго конденсатора *AB*, соединеннаго съ землей (рис. 283). Малѣйшее измѣненіе величины угла расхожденія листковъ *f* электроскопа наблюдалось въ микроскопъ, установленный передъ шкалой электроскопа. За *единицу активности* принята активность металлическаго урана; она почти въ милліонъ разъ слабѣе активности чистаго бромистаго радія. Лучи, испускаемые радіоактивными веществами,— *лучи Беккереля*, подобно рентгеновскимъ лучамъ не отражаются и не преломляются. По отношенію ихъ къ магнитно-электрическимъ дѣйствіямъ они могутъ быть раздѣлены на три группы: α, β и γ лучи.

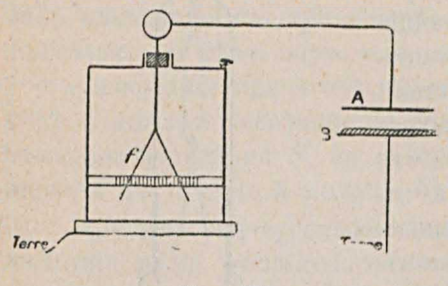


Рис. 283.

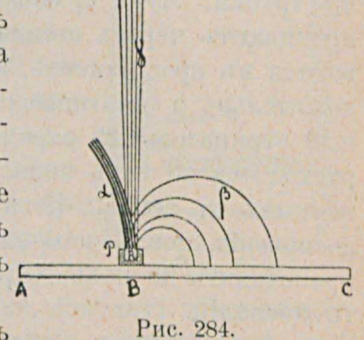


Рис. 284.

Лучи, испускаемые радіемъ *R*, заключеннымъ въ свинцовую коробочку *P* (рис. 284), частью отклоняются сильнымъ магнитомъ въ сторону *BA* (α лучи), частью въ сторону *BC* (β лучи) и частью совершенно не испытываютъ отклоненія (γ лучи). Рис. 285 представляетъ расположеніе приборовъ при указанномъ опытѣ. Буквой *R* на немъ, какъ и на предыдущемъ схематическомъ чертежѣ, обозначенъ радій, *A* — изолирующій цилиндръ, *MM* — обмотка сильнаго электромагнита съ полюсами *N* и *S*, *E* — электроскопъ, разряжающійся при паденіи на его пуговку лучей радія.

Рис. 285.

Предполагаютъ, что α лучи, несущіе положительный зарядъ, аналогичны, а можетъ быть и тождественны аноднымъ лучамъ, наблюдаемымъ въ круксовыхъ трубкахъ, β лучи, несущіе отрицательный зарядъ,—катоднымъ, а γ—лучамъ Рентгена. Такимъ образомъ β лучи радія являются носителями его эманаціи. По приблизительному разсчету Г-жи Кюри α составляютъ 60%, β—30% и γ—10% всѣхъ лучей.

§ 8. Вѣчные часы Штрутта, радіевый perpetuum mobile и спинтарископъ Крукса. Такъ называемые *вѣчные часы Штрутта,* устроенные имъ въ 1903 г. и наглядно демонстрирующіе непрерывное выдѣленіе радіемъ излученій, состоятъ изъ стеклянной запаянной трубочки съ крупинкой бромистаго радія внутри ея. Трубочка снизу снабжена двумя листочками сусальнаго золота, такъ что представляетъ собою электроскопъ, и вплавлена въ другую большую по размѣрамъ трубку съ разрѣженнымъ воздухомъ, устанавливаемую въ деревянномъ штативѣ (рис. 286). Противъ листковъ электроскопа въ наружной трубкѣ укрѣплены металлическія пластинки, которыя могутъ быть приведены въ сообщеніе съ землею черезъ проволочки, впаянныя въ стѣнки трубки. Лучи β, излучаемые радіемъ, свободно проникаютъ черезъ стеклянныя преграды и разсѣиваются въ пространствѣ, а лучи α, заряженные положительно и остающіеся внутри трубочки съ радіемъ, возбуждаютъ индуктивный отрицательный зарядъ въ листочкахъ электроскопа. Листочки постепенно расходятся до тѣхъ поръ, пока не коснутся металлическихъ пластинокъ, соединенныхъ съ землей. Коснувшись ихъ, они разряжаются и опадаютъ до соприкосновенія, послѣ чего вновь начинаютъ заряжаться и расходиться, что можетъ происходить до полнаго распада радія, заключеннаго въ трубкѣ, т. е. въ теченіе тысячелѣтій.

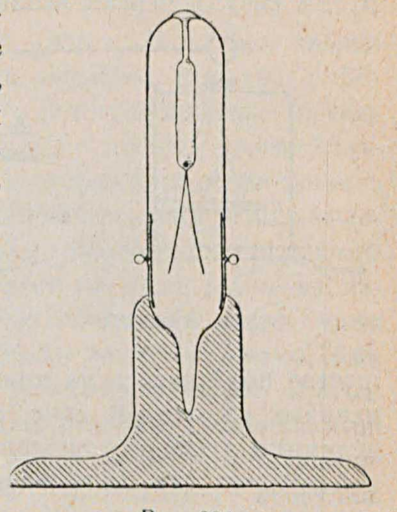


Рис. 286.

Г. Грейнахеръ въ 1911 г. сконструировалъ радіевый „perpetuum mobile" (рис. 287). Мѣдная трубка *R*, заполненная въ верхней части парафиномъ (на рисункѣ заштриховано), закрыта сверху тонкой алюминіевой пластинкой *Al*. Эта трубка длиною въ метръ и вставлена въ мѣдный ящикъ *G*. Такая длина трубки обусловлена тѣмъ, что находящійся вверху радій долженъ быть достаточно удаленъ отъ ящика, такъ какъ иначе его γ—лучи могутъ электризовать тамъ воздухъ.

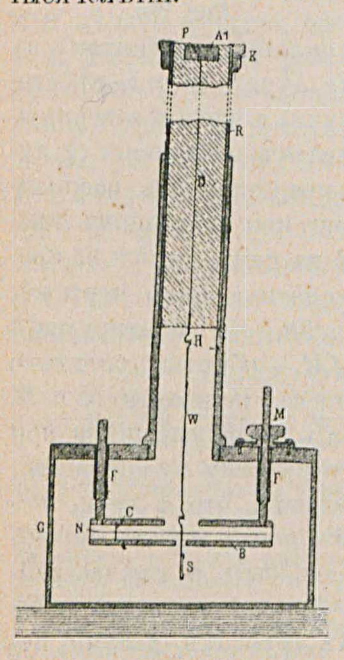


Рис. 287.

На пластинку *Al* кладутъ радіевый препаратъ въ нѣсколько миллиграммовъ. β—лучи радія (электроны) падаютъ на мѣдную пластинку *P*, находящуюся изолированно въ слоѣ парафина, поглощаются тамъ и передаютъ пластинкѣ отрицательное электричество. Такъ какъ парафинъ является хорошимъ изоляторомъ, то пластинка *P* вблизи радія постоянно удерживаетъ свой зарядъ. Послѣдній по проволокѣ *D* и платиновой нити *W* передается вращающейся подвѣскѣ, которая состоитъ изъ вертикальнаго серебрянаго штифта съ горизонтальной металлической иглой *N*. Послѣдняя по мѣрѣ электризаціи начинаетъ вращаться и постепенно входитъ между пластинками *B*. При дальнѣйшемъ вращеніи она касается платиноваго кон-

такта C и разряжается, послѣ чего возвращается въ свое начальное положеніе. Это послѣднее явленіе вызывается лишь раскручиваніемъ нити W. Но такъ какъ электричество притекаетъ постоянно, то вращеніе начинается снова и продолжается до тѣхъ поръ, пока не произойдетъ новый разрядъ. Продолжительность колебанія при 3 мгр. бромистаго радія доходитъ приблизительно до 5 минутъ. Движеніе совершается равномѣрно и его можно проектировать на экранъ помощью зеркальца S, на которое направляютъ лучи свѣта. Тогда зайчикъ отъ зеркала въ теченіе 5 минутъ будетъ передвигаться по экрану.

Другимъ интереснымъ приборомъ, основаннымъ на дѣйствіи радія, является *спинтарископъ Крукса*. Онъ состоитъ (рис. 288) изъ цилиндрическаго металлическаго сосуда съ ввинчивающимся въ него увеличительнымъ стекломъ D, которое ввинчиваніемъ и вывинчиваніемъ каждый отдѣльный наблюдатель можетъ установить по глазамъ (установить на фокусъ) для отчетливаго наблюденія поверхности пластинки A, покрытой люминисцирующимъ веществомъ. Игла B съ микроскопическимъ количествомъ радіевой соли помощью диска EE можетъ быть приближена къ экрану A или удалена отъ него. Наблюдатель, смотрящій въ лупу спинтарископа, замѣчаетъ свѣченіе экрана, имѣющее характеръ отдѣльныхъ вспышекъ, производимыхъ лучами α при ударѣ ихъ частицъ о люминисцирующее вещество экрана. Число такихъ вспышекъ въ секунду, а слѣдовательно и α—частицъ, выбрасываемыхъ однимъ миллиграммомъ радія, доходитъ по вычисленіямъ Руттерфорда до 136 милліоновъ. Для демонстрированія электрическаго дѣйствія α—частицъ дно цилиндра отвинчивается, лупа изъ прибора вывинчивается совершенно и его приближаютъ къ заряженному положительнымъ зарядомъ электроскопу, листочки котораго при этомъ опадаютъ.

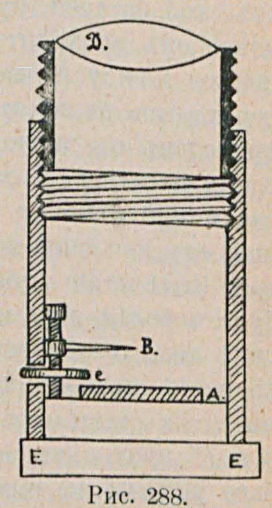


Рис. 288.

§ 9. Селенографъ Корна. Трубка Гейслера въ недавнее время нашла интересное примѣненіе для передачи на разстояніе изображеній помощью электрическаго тока. Въ 1903 г. *Корнъ* предложилъ для указанной цѣли т. н. *селенографъ* (ч. III, гл. IX, § 10). Устройство его слѣдующее:

На станціи отправленія E (рис. 289) главной частью аппарата служитъ стеклянный полый цилиндръ T, на который накладывается пленочный негативъ N съ изображеніемъ, назначеннымъ для передачи. Особый часовой механизмъ сообщаетъ два движенія стеклянному цилиндру: одно—вдоль его оси AB и другое—вращательное вокругъ этой оси. Надъ

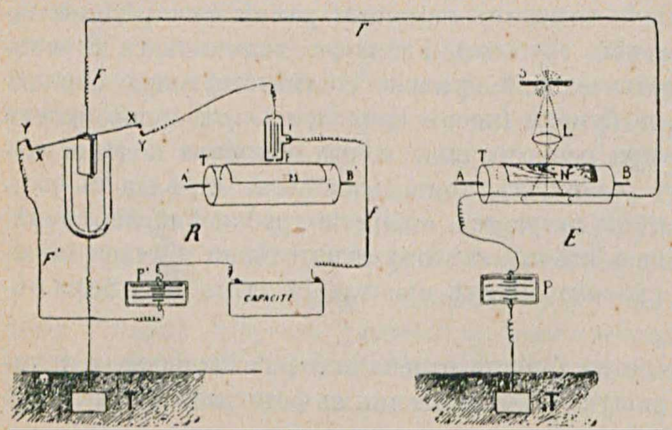


Рис. 289.

цилиндромъ устанавливается сильный источникъ свѣта (электрическая дуга) S, лучи котораго проходятъ сквозь линзу L и собираются ею въ одну точку на поверхности негатива. Смотря по степени прозрачности негатива въ той точкѣ, на которую упалъ свѣтъ, этотъ послѣдній проникаетъ въ большей или меньшей мѣрѣ сквозь негативъ и стеклянную стѣнку цилиндра и освѣщаетъ (болѣе или менѣе сильно) пластинку селена, находящуюся внутри цилиндра. Эта пластинка включена въ электрическую цѣпь FF, по которой проходитъ электричество отъ батареи P, другой полюсъ которой соединенъ съ землей T. Токъ отъ этой батареи, пройдя черезъ селенъ, направляется на станцію полученія R; здѣсь онъ проходитъ чрезъ проволоку, намотанную на рамку, которая помѣщается между полюсами магнита и снабжена стрѣлкой XX. Изъ рамки токъ переходитъ въ землю T, которая и замыкаетъ цѣпь. Когда стеклянный цилиндръ приведенъ въ движеніе, то свѣтъ проходитъ послѣдовательно чрезъ различныя точки негатива, и сообразно степени прозрачности ихъ селенъ освѣщается въ различной степени; въ той же мѣрѣ мѣняется проводимость селена и зависящая отъ нея сила тока во всей цѣпи вообще и въ частности въ рамкѣ со стрѣлкой. Вслѣдствіе этого рамка со стрѣлкой не будетъ оставаться въ покоѣ,—она будетъ болѣе или менѣе поворачиваться въ одну сторону; при значительной силѣ тока (когда свѣтъ проходитъ чрезъ прозрачное мѣсто негатива) стрѣлка коснется проводниковъ YY и замкнетъ вторую цѣпь $F'F'$, которая вся находится на станціи полученія. Въ этой цѣпи токъ высокаго напряженія отъ батареи P' проходитъ чрезъ конденсаторъ и поступаетъ въ трубку Гейслера l особаго устройства: она имѣетъ непрозрачныя стѣнки, кромѣ маленькаго отверстія, закрытаго стекломъ; противъ этого отверстія внутри трубки помѣщается электродъ такъ, что наиболѣе сильное свѣченіе газа приходится какъ разъ противъ отверстія. Подъ самымъ отверстіемъ помѣщается свѣточувствительная бумага на цилиндрѣ, который вмѣстѣ съ пленкой и трубкой Гейслера защищенъ отъ посторонняго свѣта. Этотъ цилиндръ съ позитивной бумагой приводится въ точно такое же движеніе, какъ прозрачный цилиндръ съ негативной пленкой на станціи отправленія. Если движенія этихъ двухъ цилиндровъ строго согласованы, то будутъ имѣть мѣсто такія явленія: когда на станціи отправленія подъ источникомъ свѣта находится прозрачная точка негатива, то токъ пробѣгаетъ на станцію полученія и здѣсь съ помощью рамки со стрѣлкой замыкаетъ токъ высокаго напряженія; трубочка Гейслера вспыхиваетъ и освѣщаетъ точку на листѣ свѣточувствительной бумаги, соотвѣтствующую опредѣленной точкѣ негатива. Точка на бумагѣ (послѣ проявленія) очевидно будетъ черная. Не трудно видѣть, что при непрозрачной точкѣ негатива подъ источникомъ свѣта селенъ не будетъ освѣщенъ, токъ ослабѣетъ, стрѣлка съ рамкой отклонится, токъ во второй цѣпи прервется, отверстіе трубки Гейслера останется темнымъ и соотвѣтствующее мѣсто свѣточувствительной бумаги пройдетъ подъ нимъ, не затронутое свѣтомъ. Послѣ проявленія здѣсь получится бѣлая точка.

Такимъ образомъ изображеніе на бумагѣ отпечатается позитивное, т. е. такое же, какъ если бы оно было получено обыкновеннымъ фотографическимъ путемъ печатанія подъ негативомъ.

Очевидно, что бѣлыя и черныя мѣста отпечатка по способу Корна не мо-

гутъ имѣть рѣзкихъ очертаній: вмѣсто точекъ должны получиться, конечно, пятна; поэтому рисунокъ получается неизбѣжно неотчетливый, расплывчатый.

V. Электрическія волны.

§ 1. Общность свѣтовыхъ и электрическихъ явленій. Уже *Фарадей* не признавалъ господствовавшей почти до конца 19 вѣка гипотезы электрическихъ жидкостей, какъ причины электрическихъ явленій. Онъ предполагалъ, что свѣтовой эфиръ является средой, передающей электро-магнитную энергію. Не допуская дѣйствія на разстояніи, actio in distans, онъ приписывалъ главную роль въ электрическихъ явленіяхъ изолятору, а не проводнику. „Своимъ умственнымъ взоромъ онъ", какъ говоритъ о Фарадеѣ Максуель: „видѣлъ силовыя линіи, пронизывающія пространство вездѣ, гдѣ математики предполагали центры силъ, дѣйствующихъ на разстояніи, а тамъ, гдѣ они не видѣли ничего, кромѣ разстоянія между силовыми центрами, для Фарадея существовала посредствующая среда". Нашъ великій естествоиспытатель *Ломоносовъ* также не могъ видѣть причины электрическихъ явленій въ движеніи матеріальныхъ молекулъ, а считалъ ее родственной причинѣ свѣтовыхъ явленій. Максуель далъ математическое обоснованіе такой новой гипотезѣ, исходя изъ предположенія, что электрическая энергія, какъ свѣтъ, распространяется поперечными колебаніями эфира съ той же скоростью, но волнами значительно большей длины. Распространеніе такихъ волнъ происходитъ въ діэлектрической средѣ (по старому въ „непроводникахъ"). Роль же проводниковъ, внутрь которыхъ электрическая волна не проникаетъ, сводится къ роли поглотителя энергіи. Въ этомъ смыслѣ проводники сравниваютъ съ фитилемъ въ лампѣ. Фитиль является мѣстомъ сгоранія горючей жидкости, втягиваетъ изъ резервуара новыя ея количества на мѣсто сгорѣвшей и служитъ проводникомъ ея „тока". Химическая энергія горѣнія преобразуется въ тепловую, самъ же проводникъ въ химическомъ процессѣ не участвуетъ. Что проводникъ электрическаго тока не является мѣстомъ возникновенія электрическихъ волнъ, можно допустить: 1) потому, что вещество проводника не вліяетъ на степень заряда, 2) потому что электричество не проникаетъ внутрь проводника. Послѣднее доказывается отсутствіемъ электричества внутри заряженнаго полаго кондуктора и нагрѣваніемъ проводниковъ снаружи. Діэлектрики же, наоборотъ, въ зависимости отъ вещества въ различной степени проницаемы и испытываютъ при электризаціи измѣненія. Наэлектризованный „непроводникъ" увеличивается въ объемѣ. Явленія измѣненій діэлектрика при электризаціи носятъ названіе *электрострикціи*. Впервые *Фонтана* въ 1831 г. замѣтилъ увеличеніе объема заряженной лейденской банки, въ 1900—3 гг. особенно тщательно изслѣдовалъ этотъ вопросъ *Морэ*, въ 1888 г. *Кюри* показалъ, что кристаллы кварца, обнаруживающіе явленія пьэзо-электричества (ч. III, гл. XV, § 6) при электризаціи извнѣ измѣняютъ свои размѣры.

Въ 1888 г., молодому германскому ученому Г. Герцу, безвременно отнятому у науки смертью, удалось впервые доказать опытнымъ путемъ правильность воззрѣній Фарадея. Онъ далъ возможность воочію убѣдиться, что электрическія волны, будучи въ милліоны разъ длиннѣе свѣтовыхъ, подобно послѣднимъ могутъ отражаться, преломляться, быть собранными въ фокусѣ чечевицы и т. д. Какъ свѣтъ проходитъ черезъ прозрачныя среды, отражаясь отъ

непрозрачныхъ, такъ и электричество проходитъ сквозь „непроводящія вещества", отражаясь отъ поверхности проводниковъ.

§ 2. Длина электрическихъ волнъ. Долголѣтнимъ препятствіемъ для опытнаго подтвержденія общности свѣтовыхъ и электрическихъ волнъ служила длина послѣднихъ. Она такъ велика во всѣхъ извѣстныхъ до Герца условіяхъ ея возникновенія, что манипулировать съ ней не было возможности. Какъ опредѣлить длину какой-нибудь волны? Если скорость распространенія ея по опредѣленному направленію извѣстна и если число волнъ, посылаемыхъ по этому направленію источникомъ ихъ возникновенія, можетъ быть измѣрено, то длина волны будетъ частнымъ этихъ количествъ. Возбуждая гдѣ-либо электрическій токъ и наблюдая на извѣстномъ разстояніи индуктивныя дѣйствія тока, можно опредѣлить время, понадобившееся электрической волнѣ для пробѣга въ діэлектрикѣ отъ индуктирующаго къ индуктируемому проводнику. Скорость распространенія электричества въ воздухѣ оказалась равной скорости свѣта. Слѣдовательно, если гдѣ-либо возбужденъ колебательный разрядъ, дающій, напримѣръ, 600 вибрацій въ секунду, то длина волнъ, посылаемыхъ разрядомъ, будетъ равна $\frac{300000 \text{ км.}}{600}$, или 500 километрамъ. Для такой волны невозможно построить какихъ-нибудь приборовъ для ея обнаруженія. Въ 1858 г., *Феддерзенъ* получилъ до полумилліона колебаній въ 1 сек., разряжая батарею лейденскихъ банокъ. Но все же и въ этомъ случаѣ волны имѣютъ длину въ 600 метровъ. Надо было добиться еще болѣе частыхъ колебаній тока, чтобы довести длину волнъ до предѣловъ, доступныхъ непосредственнымъ набюденіямъ.

§ 3. Подсчетъ числа колебаній. Чтобы подсчитать число колебаній при исковомъ разрядѣ, вблизи искры ставятъ быстро вращающееся вогнутое зеркало; свѣтовой лучъ, отражаясь отъ зеркала и падая на фотографическую пластинку, даетъ на ней слѣдъ въ видѣ чернаго пятна, появляющагося на пластинкѣ послѣ проявленія послѣдней. Если за все время вращенія зеркала источникъ свѣта не погасаетъ, то на фотографической пластинкѣ получится темная полоса, такъ какъ зеркало вращаясь отражаетъ падающій на него лучъ въ каждый моментъ своего вращенія на новую точку пластинки. Отраженія эти, непрерывно слѣдуя другъ за другомъ, сливаются въ одну полосу. Если въ начальный моментъ вращенія зеркало занимало положеніе AB (рис. 290), то свѣтящаяся точка S, отразившись въ немъ, давала на экранѣ изображеніе m. Въ новомъ положеніи зеркала $A'B'$ изображеніе точки будетъ уже въ m'. Такимъ образомъ, отраженіе точки S за время вращенія зеркала на уголъ COC' сфотографируется непрерывной полосой mm'. Если же за это время свѣтящаяся точка то появлялась, то погасала, то изображеніе ея получится въ видѣ отдѣльныхъ черточекъ по направленію прямой mm'. Фотографируя такимъ способомъ электрическую искру, можно, зная быстроту вращенія зеркала, опредѣ-

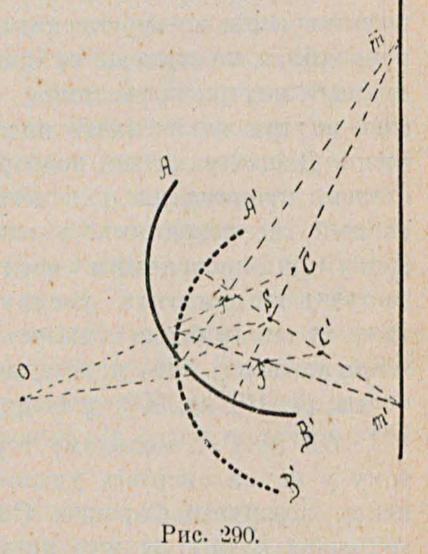


Рис. 290.

лить время одного полнаго разряда и сосчитать число отдѣльныхъ разрядовъ, изъ которыхъ онъ состоялъ (ч. II, гл. VIII, § 8).

§ 4. Вибраторъ Герца. То, что не удалось Феддерзену и другимъ ученымъ, удалось *Г. Герцу* (1890 г.). Онъ построилъ такой вибраторъ, что волны, посылаемыя его разрядами, имѣли всего 0,6 метра длины. Съ такими волнами уже не трудно было манипулировать.

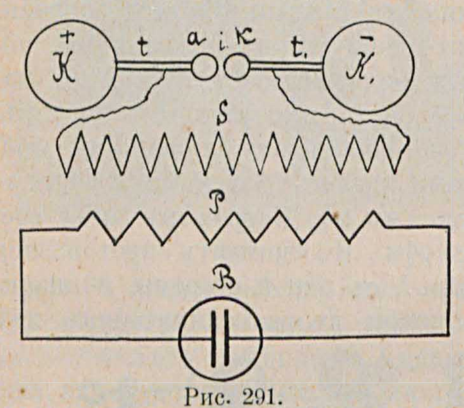
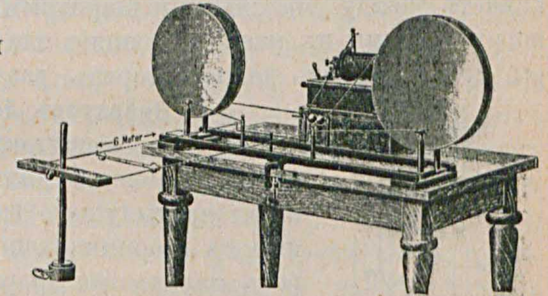


Рис. 291.

Приборъ для полученія такихъ короткихъ, но въ тоже время достаточно сильныхъ волнъ,—вибраторъ Герца, состоитъ изъ источника тока (аккумуляторной батареи) B и катушки Румкорфа (рис. 291 и 292). Первичная P и вторичная S спирали катушки показаны условно, какъ ихъ для упрощенія обозначаютъ на чертежахъ и какъ мы будемъ ихъ изображать въ дальнѣйшихъ случаяхъ. Вторичная спираль S соединена съ разрядникомъ. Разрядникомъ служатъ два металлическихъ стержня на изолированныхъ подставкахъ, несущіе шарики a и $к$, между которыми въ промежуткѣ i *(искромѣръ)* проскакиваетъ искра. Для увеличенія электроемкости (чтобы придать искрѣ большую силу) на противоположныхъ концахъ стержней разрядника насажены большіе металлическіе шары или листы K_1 и K—сгустители электричества или *конденсаторы*. Когда наростаніе напряженія на конденсаторахъ отъ индуктированнаго тока вторичной спирали достигнетъ такой величины, что между a и $к$ проскочитъ искра, то благодаря значительному количеству электричества въ конденсаторахъ K_1, K равновѣсіе достигнется не сразу. Послѣ мгновеннаго разряда шары заряжаются противоположными электричествами, дадутъ 2-ой разрядъ въ противоположномъ направленіи первому, перезарядятся, дадутъ снова прямой разрядъ и т. о. онъ окажется состоящимъ изъ нѣсколькихъ милліоновъ отдѣльныхъ разрядовъ въ противоположныхъ направленіяхъ. Каждому такому отдѣльному, частичному разряду будетъ соотвѣтствовать образованіе волны въ окружающемъ пространствѣ. Число этихъ волнъ въ единицу времени зависитъ отъ емкости конденсатора и самоиндукціи цѣпи, возрастая по мѣрѣ ихъ уменьшенія. Въ герцевскомъ вибраторѣ ежесекундно посылается въ пространство до 500 милліоновъ волнъ, длиною до 0,6 м. каждая. Намъ невозможно представить мысленно ни подобной быстроты, ни общаго числа разрядовъ, происходящихъ хотя бы въ теченіе одной десятой доли секунды! Однако, дальнѣйшіе усовершенствователи конструкціи вибраторовъ пошли еще дальше. Итальянскій проф. *А. Риги*, въ 1903 году, устроилъ вибраторъ, дающій до 10 тысячъ милліоновъ колебаній тока въ 1сек., а нашъ соотечественникъ проф. Московскаго университета, *П. Лебедевъ*, въ 1895 году довелъ въ своемъ вибраторѣ число ко-


Рис. 292.

лебаній до подавляющей цифры 50000000 въ 1 сек. Длину волнъ, полученныхъ Риги и равную 3 см., Лебедевъ довелъ всего до 3 мм.

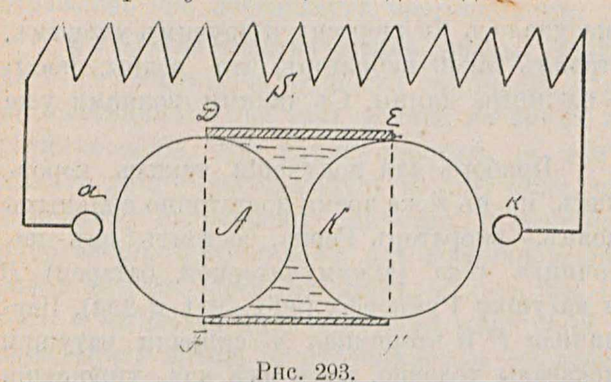


Рис. 293.

§ 5. Вибраторъ Риги. Въ этомъ вибраторѣ (рис. 293) искромѣръ Герца раздвинутъ и въ немъ помѣщены два шара, діаметромъ въ 2 дециметра каждый. Шары до половины вдвинуты въ стеклянный цилиндрическій сосудъ *DEHF*, наполненный минеральнымъ масломъ. Разстояніе между ближайшими точками шаровъ *A* и *K* не превышаетъ 1-го мм. Искромѣръ *a*—*к* соединенъ со вторичной спиралью катушки Румкорфа. Въ моментъ прохожденія по спирали тока между шарикомъ *a* и шаромъ *A*, съ одной стороны, и шарикомъ *к* и шаромъ *K*, съ другой, появляются искры въ разъединяющемъ ихъ слоѣ воздуха. Въ тотъ же моментъ и въ маслѣ между шарами *A* и *K* происходитъ колебательный разрядъ.

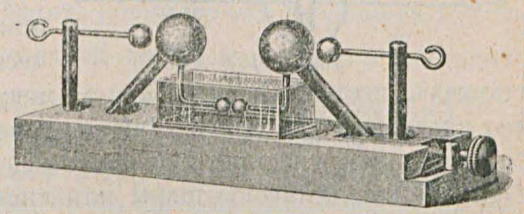


Рис. 294.

На рис. 294 представленъ вибраторъ Риги, въ которомъ искра проскакиваетъ между маленькими шариками, погруженными въ масло. Большіе шары, играющіе роль конденсаторовъ, раздвинуты и находятся внѣ сосуда.

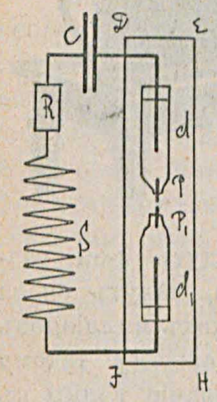


Рис. 295.

§ 6. Вибраторъ Лебедева. Въ этомъ вибраторѣ (рис. 295) искровый промежутокъ между платиновыми стерженьками *P* и P_1 составляетъ долю мм. Стерженьки замѣняютъ большіе шары предыдущаго вибратора, а проволоки *d* и d_1, соединенныя съ вторичной спиралью катушки Румкорфа *S*, играютъ роль маленькихъ шариковъ вибратора Риги. Токъ, по нимъ идущій, предварительно проходитъ особое, весьма значительное сопротивленіе *R* и конденсаторъ *C*. Искромѣръ помѣщенъ въ сосудъ съ керосиномъ. Задняя стѣнка сосуда *DEHF* представляетъ цилиндрическое вогнутое зеркало (рис. 296). Искровый промежутокъ вибратора лежитъ на линіи главнаго фокуса этого зеркала, чтобы получающіяся волны, отразившись отъ зеркала, распространялись параллельно.

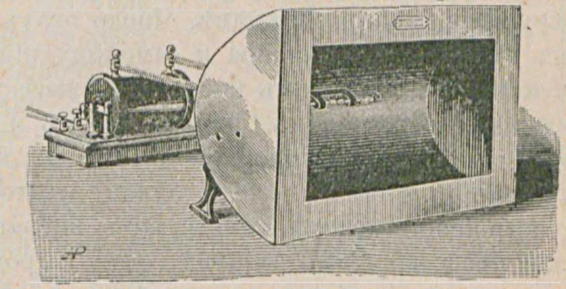


Рис. 296.

§ 7. Резонаторъ Герца. Чтобы прослѣдить за направленіемъ электрическихъ волнъ и измѣрить непосредственно ихъ длину, Герцъ устроилъ *резонаторъ электрическихъ волнъ*, основанный на томъ же принципѣ, какъ и звуковой резонаторъ. Каждой волнѣ, посылаемой выбраторомъ Герца,

отвѣчаетъ появленіе тока въ стержняхъ вибратора t и t (рис. 296 и 297). Этимъ токомъ можно воспользоваться для полученія индуктированнаго тока въ отдаленномъ отъ вибратора проводникѣ и сдѣлать (подбирая опредѣленную емкость и сопротивленіе проводника)

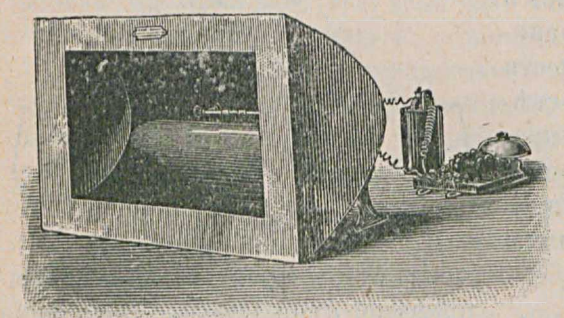


Рис. 297.

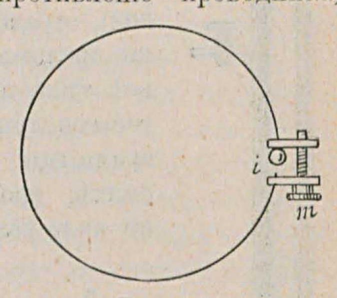


Рис. 298.

токъ этотъ настолько сильнымъ, что при перерывѣ проводника въ немъ проскочитъ искра. Резонаторъ Герца состоитъ изъ изогнутаго въ кольцо проводника (рис. 298); промежутокъ i между концами его можетъ измѣняться микрометрическимъ винтомъ *m*. *Лехеръ* для большей наглядности опыта раздвигалъ концы искромѣра резонатора настолько, чтобы сдѣлать невозможнымъ появленіе искръ, и прикладывалъ къ резонатору трубку Гейслера. При внесеніи резонатора въ силовое поле, образуемое вибраторомъ, трубка начинала свѣтиться (рис. 292).

§ 8 **Стоячія волны и изслѣдованіе электрическихъ волнъ**. Измѣрить помощью герцевскаго резонатора длину волнъ, посылаемыхъ какимъ-нибудь вибраторомъ, можно, получивъ стоячія волны. Зная же длину послѣднихъ и число ихъ, не трудно по этимъ даннымъ найти скорость распространенія электрическихъ волнъ. Чтобы получить стоячія волны, Герцъ ставилъ на пути ихъ распространенія металлическій экранъ M (рис. 299). Волны отражались отъ экрана (резонаторъ, помѣщенный за экраномъ, не давалъ искръ). Отраженная волна, встрѣчая прямую волну, интерферировала съ нею, образуя узлы и пучности, какъ образуютъ ихъ и всѣ извѣстныя ранѣе волны. Резонаторъ r, помѣщенный въ одномъ изъ узловъ, не обнаружилъ колебаній. Внесенный же въ мѣсто пучности, давалъ наиболѣе сильныя искры.

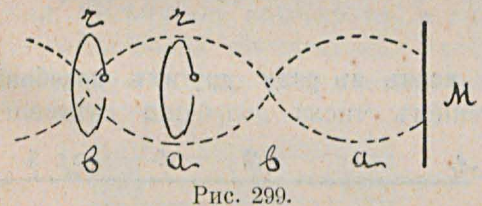


Рис. 299.

Измѣряя разстоянія между сосѣдними пучностями (a—a) или узлами (b—b), нашли длину волны, образуемой тѣмъ или инымъ вибраторомъ. Герцъ располагалъ другъ противъ друга два металлическихъ параболическихъ зеркала (рис. 300) и помѣщалъ искромѣръ вибратора въ главномъ фокусѣ F одного изъ нихъ. Въ главномъ фокусѣ другого зеркала Z онъ ставилъ резонаторъ. Электрическіе лучи *) подобно свѣтовымъ собрались въ главномъ фо-

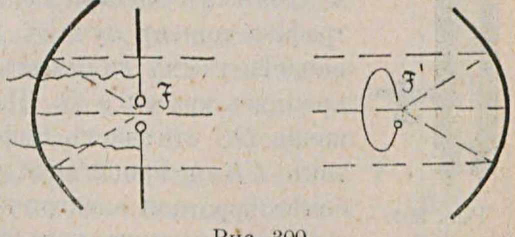
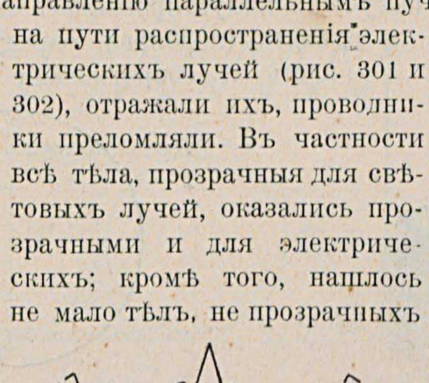


Рис. 300.

*) Электрическій лучъ—направленіе распространенія электрической волны въ однородной средѣ.

кусѣ второго зеркала. Поворачивая послѣднее, Герцъ посылалъ ихъ по прямолинейному направленію параллельнымъ пучкомъ. Непроводники, поставленные на пути распространенія электрическихъ лучей (рис. 301 и 302), отражали ихъ, проводники преломляли. Въ частности всѣ тѣла, прозрачныя для свѣтовыхъ лучей, оказались прозрачными и для электрическихъ; кромѣ того, нашлось не мало тѣлъ, не прозрачныхъ для свѣта и пропускающихъ электрическіе лучи (смолы). Направляя лучи на призму, сдѣланную изъ асфальта, удалось прослѣдить ихъ отклоненіе къ основанію призмы. *Лоджъ*, пропуская электрическіе лучи сквозь чечевицу изъ асфальта, собралъ ихъ въ фокусѣ, какъ собираютъ лучи, прошедшіе сквозь стеклянную линзу.



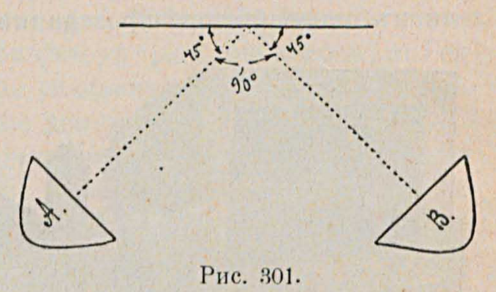


Рис. 301.

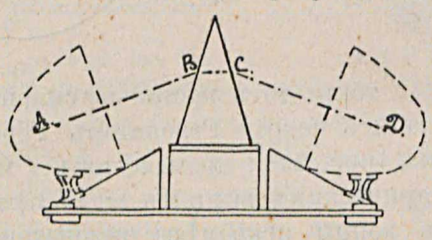


Рис. 302.

Аронъ для демонстрированія стоячихъ волнъ пользовался длинной трубкой (рис. 303) съ разрѣженнымъ воздухомъ и двумя параллельными проводниками внутри ея. Пучности обнаруживаются свѣченіемъ газа между проводниками, узлы—отсутствіемъ свѣта. Чѣмъ чаще колебаніе разрядника, тѣмъ ближе другъ къ другу свѣтовыя полосы внутри трубки.

Рис. 303.

§ 9. Мѣсто электрическихъ волнъ въ ряду другихъ колебаній эфира. Воспользуемся изображеніемъ числа колебаній свѣтового эфира въ видѣ дѣленій масштаба (рис. 304). Пусть положеніе точекъ на прямой AF, раздѣленной на 30 равныхъ частей, соотвѣтствуютъ числу колебаній эфирныхъ волнъ. Крайняя точка A будетъ отвѣчать наиболѣе медленнымъ электрическимъ колебаніямъ, точка F крайнимъ ультрафіолетовымъ лучамъ. Зачерненный отрѣзокъ прямой DE обозначаетъ гамму видимыхъ свѣтовыхъ лучей отъ фіолетоваго E до крайняго краснаго D. Шестикратное, по сравненію съ DE, протяженіе DC отвѣчаетъ инфракраснымъ. Надо думать, что промежутокъ CB, лежащій между наиболѣе длинной инфракрасной и наиболѣе короткой электрической волной, соотвѣтствуетъ видамъ энергіи, нами до сихъ поръ не обнаруженнымъ. За точкой F, продолжаясь на неопредѣленное разстояніе, отрѣзокъ прямой изображаетъ числа колебаній волнъ, размѣры которыхъ еще меньше, чѣмъ крайнихъ ультрафіолетовыхъ. Предполагаютъ, что сюда должны быть отнесены волны катодныхъ, рентгеновскихъ и беккерелевскихъ лучей.

Рис. 304.

§ 10. Открытіе Бранли. Кохереръ. Въ 1891 г. *Э. Бранли* замѣтилъ, что металлы, взятые въ порошкѣ или мелкихъ зернахъ, насыпанныхъ слоемъ или заключенныхъ въ трубку съ электродами, уменьшаютъ оказываемое ими сопротивленіе прохожденію тока, если они находятся въ полѣ дѣйствія герцевскихъ волнъ. *А. Бланкъ*, въ 1905 г., объяснилъ это явленіе тѣмъ, что поверхностные слои металла, которыми соприкасаются зерна, имѣютъ проводимость весьма незначительную, отчего и проводимость всего слоя порошка не велика. Электрическія колебанія, достигая до металлическихъ зеренъ, вызываютъ въ нихъ индуктивные токи, подъ вліяніемъ которыхъ зерна спаиваются поверхностными слоями, что сопровождается повышеніемъ ихъ электропроводности до нормальнаго значенія ея для даннаго металла. Это свойство даетъ возможность обнаружить присутствіе волнъ на значительномъ разстояніи отъ мѣста ихъ возникновенія. Приборъ, служащій для этого, названъ *кохереромъ* *).

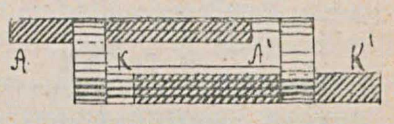
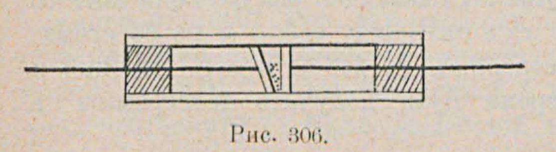


Рис. 305.

Кохереръ Попова рис. 305) состоитъ изъ стеклянной трубочки, на внутренней поверхности которой наклеены платиновыя полоски A, A^1 и K, K^1; концы полосокъ, заключенные въ трубкѣ, не доходятъ до противолежащихъ пробокъ, а наружные выведены черезъ пробки. Внутренность трубки наполняется мелкими желѣзными опилками. Встряхиваніе кохерера опять возвращаетъ ему прежнее значительное сопротивленіе. По мнѣнію А. Попова, въ моментъ достиженія до кохерера волны отдѣльные проводники, составляющіе его, намагничиваются и располагаются по силовымъ линіямъ поля. Встряхиваніе разрушаетъ правильность расположенія, новая волна опять его возстановляетъ и т. д. Въ 1895 г. *А. Поповъ* примѣнилъ кохереръ для звонковой сигнализаціи на разстояніи. Кнопка электрическаго звонка, замыкающая токъ въ цѣпи, замѣнялась кохереромъ, а нажимъ пальцевъ на кнопку замѣняла электрическая волна, достигающая издали до кохерера. Встряхиваніе кохерера производилось самимъ молоточкомъ звонка.


Рис. 306.

Кохереръ *Маркони* (рис. 306) имѣетъ электроды, заключенные внутри трубки: одинъ электродъ дѣлается прямымъ, другой наклоннымъ, что позволяетъ регулировать чувствительность кохерера поворачиваніемъ его вокругъ оси, отчего разстояніе между электродами, заполненное опилками, то увеличивается, то уменьшается.

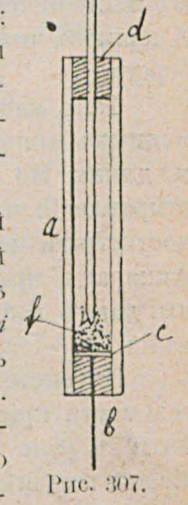


Рис. 307.

Массіе примѣняетъ вертикальный кохереръ (рис. 307), состоящій изъ стеклянной трубки а, въ которую снизу вставленъ серебряный электродъ *с*, соединенный съ цѣпью проводомъ *в*. На электродѣ насыпаны серебряно-мѣдныя опилки. Надъ ними опущено остріе *i* намагниченнаго стержня *е*. На концѣ острія виситъ кисть желѣзныхъ опилокъ *f*, касающихся опилокъ, лежащихъ на нижнемъ электродѣ. Замѣняя серебряныя опилки угольнымъ порошкомъ, дѣлаютъ приборъ самодекохерирующимся, т. е. не требующемъ механическаго толчка для нарушенія проводимости. Образовавшійся мостикъ раз-

*) Отъ слова cohesion (сцѣпленіе).

рушается самъ собою, какъ только волна перестанетъ доходить до него. Имѣются и другія варіаціи кохерера, описываемыя въ спеціальныхъ курсахъ радіотелеграфіи.

§ 11. Безпроволочная или искровая телеграфія. Въ 1897 г. итальянскій инженеръ *Маркони* и *А. Поповъ* примѣнили кохереръ для приведенія въ дѣйствіе морзевскаго телеграфнаго аппарата. Схема расположенія приборовъ изображена на рис. 308. На станціи отправленія телеграфнымъ ключемъ *К* замыкаютъ и размыкаютъ токъ батареи *В*, возбуждающей въ эти моменты индуктивный токъ во вторичной спирали *S*. Искромѣръ *i* вибратора для увеличенія напряженія электрической волны погруженъ въ масло. Волны, распространяясь въ пространствѣ, достигаютъ станціи полученія. На станціи полученія въ моментъ достиженія электрической волной кохерера K_1 (что отвѣчаетъ нажатію ключа *К* на станціи отправленія), замыкается токъ батареи *В'*, приводящій въ дѣйствіе реле *R*. Помощью реле, какъ и при обыкновенномъ телеграфированіи, приводится въ дѣйствіе болѣе сильная мѣстная батарея *В''*, въ цѣпь которой включены электрическій звонокъ *З* и пишущій приборъ Морзе. Въ моментъ, когда реле замкнетъ токъ въ батареѣ *В''*, на лентѣ телеграфнаго аппарата появится черточка. Длина черточки зависитъ отъ продолжительности нажатія на ключъ *К*. Звонокъ *З* приведетъ въ дрожаніе кохереръ, сдѣлавъ его чувствительнымъ къ принятію новой волны.

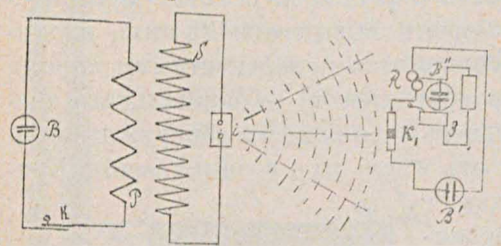


Рис. 308.

Практическія усовершенствованія, внесенныя въ устройство приборовъ для искроваго телеграфированія *Слаби*, *Дюкрете*, *Брауномъ* и др., дали возможность обмѣниваться депешами на многія сотни верстъ. Такъ какъ распространеніе электрическихъ волнъ надъ поверхностью воды встрѣчаетъ менѣе препятствій, чѣмъ надъ сушей, то особенно удачны оказались быстро вошедшіе въ практику приборы для обмѣна депешами судовъ между собою и съ берегомъ. Въ настоящее время океанскіе пароходы, совершающіе рейсы между Европой и Америкой, имѣютъ возможность во все время пути получать телеграммы съ берега.

Такъ какъ волны болѣе длинныя легче обходятъ препятствія, то въ современныхъ аппаратахъ Маркони пользуются преимущественно волнами около 300 м. длины. Во избѣжаніе перехватыванія депешъ станціи отправленія и полученія настраиваются въ униссонъ, что достигаютъ подборомъ самоиндукціи и емкости станцій. Аппараты, принимающіе волны лишь опредѣленной длины, даютъ возможность т. н. избирательнаго телеграфированія.

Въ системѣ *Попова-Дюкрете* увеличеніе чувствительности пріемной станціи достигнуто введеніемъ магнитнаго реле *Клода* (рис. 309). Оно состоитъ изъ алюминіевой катушки *F*, обмотанной тонкой мѣдной проволокой, сопротивленіе которой около 500 омовъ. Катушка помѣщена

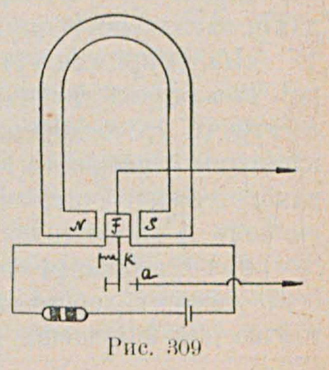


Рис. 309

между полюсами подковообразнаго магнита *NS*, а концы обмотки включены въ цѣпь кохерера. При прохожденіи въ цѣпи тока катушка поворачивается такъ, что пружина *к* касается контакта *n*, замыкая цѣпь встряхивающаго аппарата. Въ послѣдніе годы Маркони замѣнилъ кохереръ особымъ детекторомъ, основаннымъ на свойствѣ вращающагося магнитнаго поля уменьшать явленіе гистерезиса въ желѣзѣ. Рис. 310 изображаетъ схему детектора, состоящаго изъ желѣзной проволоки, охватывающей вращающіеся каучуковые диски *К,К* и проходящей черезъ стеклянную трубочку *С*, обмотанную двумя слоями тонкой изолированной проволоки. Одинъ изъ этихъ слоевъ соединенъ съ антенной *a* и землей *Z*, а другой съ телефономъ *t*. Электрическія колебанія передающей станціи измѣняютъ магнитное состояніе проволоки, благодаря чему во вторичной обмоткѣ индуктируется токъ, заставляющій звучать телефонъ. Депеши, такимъ образомъ, читаются на слухъ, какъ на клопферахъ обыкновеннаго телеграфа.

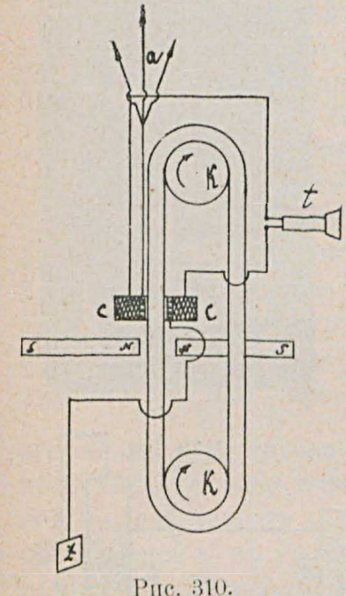


Рис. 310.

Съ 1909 г. большое распространеніе получила система звучащихъ искръ („*телефункенъ*"), разработанная упомянутыми выше *Слаби*, *Брауномъ*, а также гр. *Арко* и *Сименсомъ*. Принципъ дѣйствія этой системы, являющейся болѣе экономичной, чѣмъ прежнія, основанъ на открытіи *М. Вина*. Винъ указалъ, что связь воздушнаго провода замкнутой цѣпи съ искровымъ разрядникомъ, имѣющимъ просвѣтъ менѣе миллиметра, даетъ однотонную цѣпь того же основного тона, какъ обѣ первоначальныхъ цѣпи. Такимъ образомъ, можно помощью антенны станціи отправленія излучать только одну волну опредѣленной длины, почти полностью воспринимаемую пріемной станціей. Рис. 311 представляетъ схему отправляющей станціи системы телефункенъ („звучащей искры"), съ самоиндукціей *L* и емкостью (конденсаторомъ) *С*. Число колебаній доходитъ до 20000 въ секунду, что даетъ уху впечатлѣніе звука, а въ телефонѣ пріемной станціи слышенъ опредѣленный музыкальный тонъ. Детекторъ пріемной станціи термо-электрическій. Онъ представляетъ собою микрофонъ, контактъ котораго состоитъ изъ графитовой и свинцовой пластинъ. При достиженіи контакта электрической волной въ послѣднемъ образуется термоэлектрическій токъ, идущій въ обмотку телефона детектора. *Де-Форреста* пользуется въ своей системѣ антикохереромъ,—приборомъ, увеличивающимъ сопротивленіе подъ дѣйствіемъ герцевскихъ волнъ.

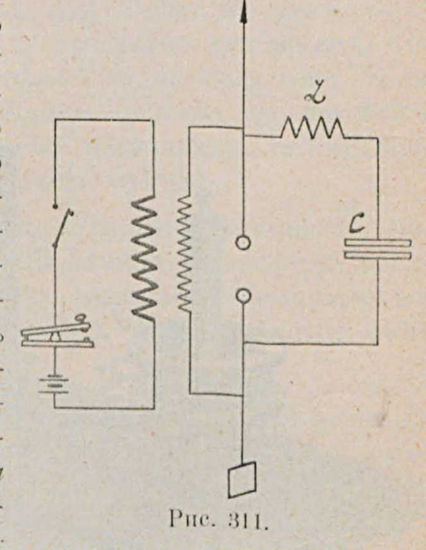


Рис. 311.

Инжен. *Кибицъ*, въ 1911 г., выработалъ способъ телеграфированія по преимущественному направленію, пользуясь горизонтально расположенными антеннами.

§ 12. Опыты Тесла. Вскорѣ послѣ Герца *Н. Тесла* устроилъ весьма интересный трансформаторъ для необычайно высокихъ напряженій, могущихъ доходить до нѣсколькихъ милліоновъ вольтъ. Первичную обмотку въ трансформаторѣ Тесла замѣняетъ цилиндръ изъ листовой мѣди или нѣсколько оборотовъ толстой мѣдной проволоки *4* (рис. 312), соединяемыхъ съ конденсаторомъ *C*. Вторичная же обмотка состоитъ изъ большого числа оборотовъ очень тонкой, хорошо изолированной проволоки *3*. Концы первичной спирали соединены проводами съ клеммами, помощью которыхъ трансформаторъ вводится въ цѣпь. Обѣ спирали погружены въ сосудъ съ керосиномъ или другимъ минеральнымъ масломъ. Токъ въ наружную (первичную) обмотку пропускается изъ батареи лейденскихъ банокъ, которая разряжается при помощи спирали Румкорфа. Рис. 313 представляетъ общую установку приборовъ для опытовъ Тесла. Буквою *A* обозначена спираль Румкорфа, *B*—лейденскія банки, *C*—обмотка трансформатора, *p*—искромѣръ, регулирующій дѣйствіе прибора, *d*—разрядникъ для токовъ Тесла. Рис. 314 представляетъ внѣшній видъ прибора. Шарики разрядника въ большихъ приборахъ замѣняются металлическими листами, удаленными на значительное разстояніе другъ отъ друга. Каждый разрядъ спирали вызываетъ колебательный разрядъ лейденской бан-

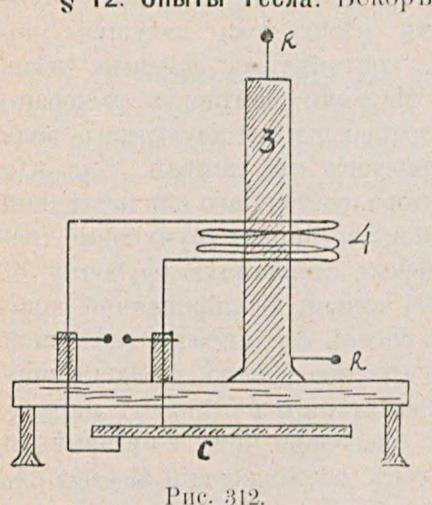


Рис. 312.

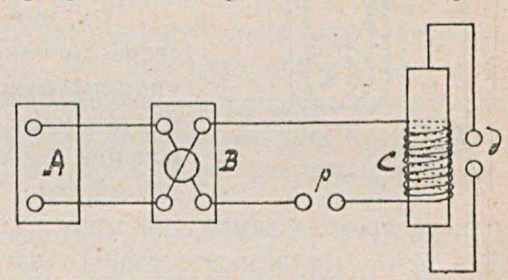


Рис. 313.

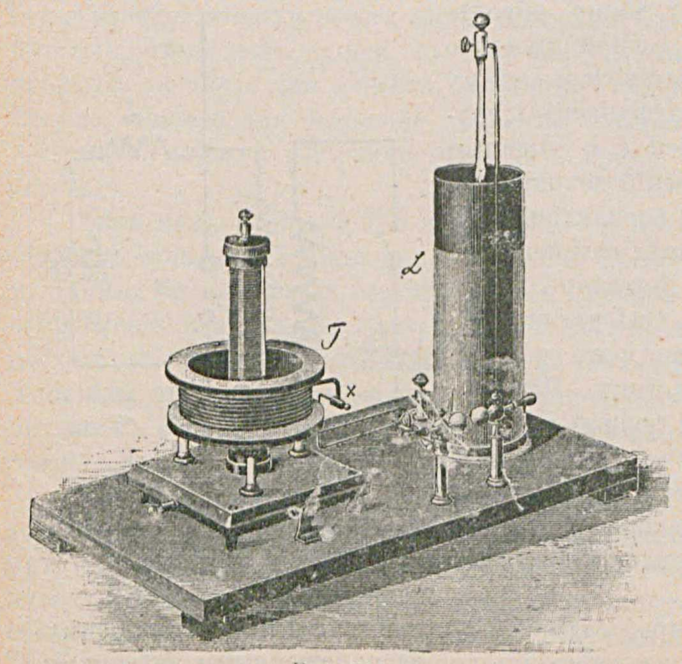


Рис. 314.

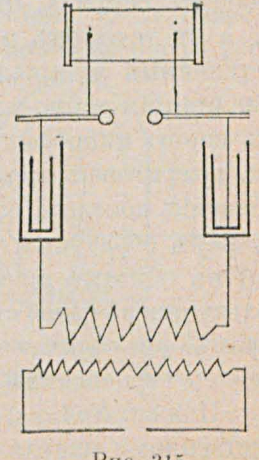
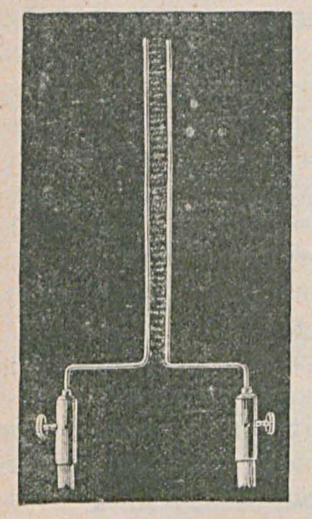


Рис. 315.

ки. Въ свою очередь, каждый частичный разрядъ послѣдней индуктируетъ токъ во вторичной обмоткѣ трансформатора. Искры, даваемыя разрядникомъ, по величинѣ и силѣ значительнѣе искръ румкорфовой спирали. Лично Тесла въ своей мастерской получалъ положительно цѣлыя молніи.


Рис. 316.

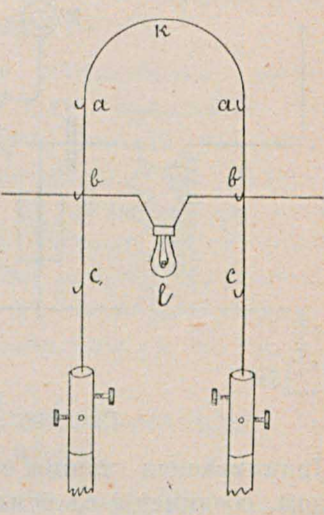


Рис. 317.

Д'Арсенваль ввелъ въ приборъ Тесла второй трансформаторъ (рис. 315), такъ какъ поврежденіе обкладокъ лейденской банки можетъ дать опасный для экспериментатора токъ большой силы.

Электрическое поле, возникающее между кондукторами разрядника, имѣетъ такое громадное напряженіе, что внесенная въ него трубка Гейслера начинаетъ свѣтиться. Соединяя съ клеммами вторичной спирали параллельно поставленныя мѣдныя проволоки (рис. 316) или кольца, наблюдаютъ образованіе между ними свѣтящагося пространства, подобнаго свѣченію въ гейслеровыхъ трубкахъ, прерываемаго отдѣльными искровыми разрядами. Экспериментаторъ, стоящій на изолирующей подставкѣ, прикасаясь рукой къ контакту лампочки накаливанія, другой контактъ которой соединенъ съ однимъ изъ электродовъ разрядника, накаливаетъ до свѣченія нить лампы токами, обтекающими его тѣло. Въ то время какъ токъ меньшей силы и меньшаго числа перемѣнъ можетъ убить человѣка (въ Америкѣ электрическій токъ даже примѣнялся для казни преступниковъ), токи Тесла не оказываютъ на организмъ вреднаго дѣйствія; точнѣе говоря, не успѣваютъ его оказать. Сопротивленіе проводовъ при выборѣ направленія токомъ не играютъ роли. Если (рис. 317) соединить съ разрядникомъ толстую мѣдную дугу *ckc*, на крючкахъ которой подвѣсить на тонкой проволокѣ *bb* лампочку накаливанія, то токъ пойдетъ по кратчайшему направленію и лампочка начнетъ свѣтить.

Тесла высказывалъ предположеніе, что, идя по пути, имъ указанному, можно заставить свѣтиться верхніе, разрѣженные слои земной атмосферы, посылать сигналы на Марсъ, взрывать на произвольномъ разстояніи взрывчатыя вещества и пр. Однако, пока подобныя примѣненія токовъ Тесла относятся лишь къ области научной фантазіи.

§ 13. Безпроволочный телефонъ. Удачное примѣненіе герцевскихъ волнъ къ безпроволочной телеграфіи заставило въ послѣднее время многихъ лицъ работать надъ осуществленіемъ при помощи тѣхъ же волнъ и безпроволочной телефоніи.

Въ 1906 году *В. Паульсенъ* впервые достигъ болѣе или менѣе удачныхъ результатовъ въ практическомъ осуществленіи идеи безпроволочной передачи голоса на разстояніе при помощи электричества.

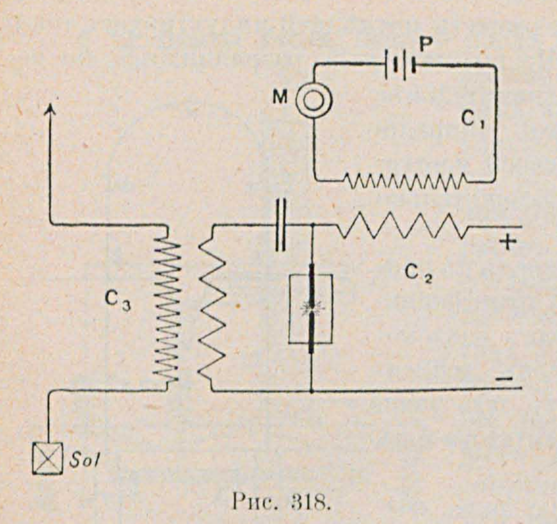


Рис. 318.

На рис. 318 представлена схематически станція отправленія такой установки. Она состоитъ изъ трехъ цѣпей. Первая цѣпь, въ свою очередь, состоитъ изъ источника постояннаго тока P, микрофона M и первичной обмотки катушки C_1. Вторая цѣпь заключаетъ вторичную обмотку катушки C_2, конденсаторъ и первичную обмотку трансформатора Тесла. Въ эту цѣпь включена параллельно вольтова дуга, окруженная атмосферой водорода. Третья цѣпь представляетъ вторичную обмотку трансформатора C_3, соединеніе съ землей *(Sol)* и мачту, посылающую герцевскія волны. Принимающая станція состоитъ изъ пріемника волнъ, источника постояннаго тока, соединенія съ землей и телефона. Воспринятыя герцевскія волны, измѣняя силу постояннаго тока въ цѣпи, заставляютъ вибрировать мембрану телефона, передающаго звуки, воспроизведенные передъ микрофономъ станціи отправленія. Въ отличіе отъ безпроволочнаго телеграфированія волны должны быть непрерывными (не загасающими), образуемыми разрядами, частота которыхъ не менѣе 20000 разъ въ секунду. Обычно частоту разрядовъ доводятъ до 50 и даже до 100 тысячъ.

Вслѣдъ за Паульсеномъ, въ 1909—1911 гг., рядъ другихъ изобрѣтателей. *Рейнъ*, *Лерель*, *Бурстейнъ* и пр. варьировали устройство аппаратовъ для искровой телеграфіи. *Фессенденъ*, въ 1909, и *Гольдсмитъ*, въ 1911 г., увеличили разстояніе передачи до 200 миль, но практическаго значенія тѣмъ не менѣе ихъ приборы пока не пріобрѣли. Передача звука обходится слишкомъ дорого по сравненію съ обыкновеннымъ телефономъ, хотя на одинаковыхъ разстояніяхъ она отчетливѣе, чѣмъ въ аппаратѣ съ проводами.

VI. Динамомашины.

§ 1. Генераторы и регенераторы электрическаго тока. Въ электродвигателяхъ, какъ мы видѣли (ч. III, гл. IV, § 9), электрическій токъ способенъ производить механическую работу. Обратное полученіе электричества, какъ результата произведенной механической работы (гл. I, § 2), происходитъ пандеромоторно въ *динамоэлектрическихъ* машинахъ (*динамомашинахъ*, или еще сокращеннѣе — *динамо*, рис. 319). Машины, въ которыхъ затра-

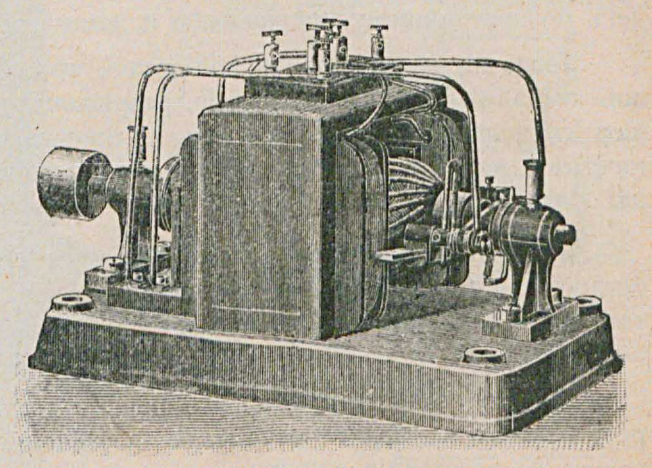


Рис. 319.

чиваемая на приведеніе ихъ въ движеніе механическая работа развиваетъ электрическій токъ, называются *генераторами* тока, тогда какъ электродвигатели служатъ его *регенераторами*, производя имъ механическую работу.

Другое, уже извѣстное намъ обозначеніе для генераторовъ: *первичныя*, а для регенераторовъ—*вторичныя машины*. Въ виду обратимости процессовъ, совершающихся въ машинахъ обоихъ типовъ, каждый изъ нихъ можетъ работать какъ въ прямомъ, такъ и въ обратномъ направленіи. Съ такой обратимостью процессовъ мы уже не разъ встрѣчались на предыдущихъ страницахъ нашего курса. Приборы для электролиза могутъ служить и источниками полученія тока (ч. III, гл. VI, § 7); электростатическая машина, заряжаемая извнѣ, обращается въ электродвигатель (ч. II, гл. VI, § 4), термоэлектрическая пара мѣняетъ свою температуру при пропусканіи черезъ нее тока (ч. III, гл. XV, § 4) и т. д.

Принципъ дѣйствія и устройства динамомашинъ настолько же простъ, насколько сложно осуществленіе ихъ для практическихъ цѣлей.

§ 2. **Принципъ дѣйствія динамомашинъ прямого тока.** *Динамомашинами прямого тока* называются динамо, развивающія электрическій токъ, идущій во внѣшней цѣпи въ одномъ направленіи, зависящемъ лишь отъ направленія вращенія проводника въ силовомъ полѣ. Для выясненія устройства приспособленій, помощью которыхъ перемѣнный токъ, появляющійся въ проводникѣ, вращающемся въ силовомъ полѣ, переходя во внѣшнюю цѣпь, становится прямымъ, вообразимъ линейный проводникъ AB (рис. 320), закрѣпленнымъ по образующей цилиндра P. Цилиндръ насаженъ на горизонтальную ось O и вращается при помощи рукоятки T въ силовомъ полѣ магнита NS. Пусть направленіе вращенія обратно движенію часовой стрѣлки, а магнитъ имѣетъ полюсы верхній—южный, а нижній—сѣверный. При такомъ расположеніи проводникъ AB,

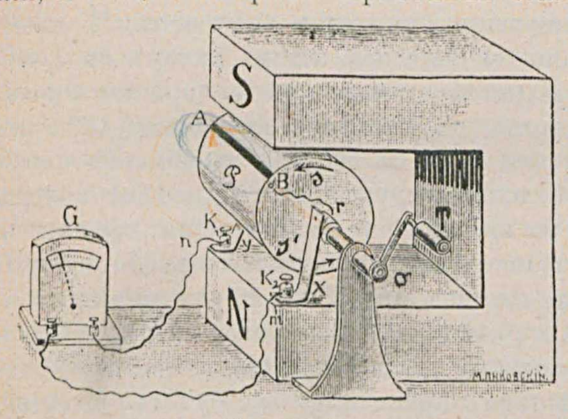


Рис. 320.

двигаясь отъ полюса S къ полюсу N, опускается, а приближаясь къ S и удаляясь отъ N, поднимается. Проводникъ AB проводомъ Br соединенъ съ металлическимъ кольцомъ r, а противоположнымъ концомъ съ такимъ же кольцемъ r' (на рисункѣ его не видно), надѣтыми на ось O. Къ кольцамъ прижимаются пружинящія металлическія ленты (щетки) X и Y. Щетки клеммами K_1 и K_2 соединены съ внѣшней цѣпью, состоящей изъ проводника m n и гальванометра g. Такъ какъ при введеніи въ магнитное поле мягкаго желѣза силовыя линіи поля имъ какъ бы сгущаются (ч. I, гл. IV, § 5) то, чтобы контуръ проводника AB пересѣкалъ въ своемъ движеніи возможно большее число линій, цилиндръ P (якорь магнита) дѣлаютъ желѣзнымъ. Для той же цѣли стараются по возможности сдѣлать болѣе тонкимъ слой воздуха, изолирующій якорь отъ концовъ магнита. Этого дости-

гаютъ стачивая концы магнита по вогнутой цилиндрической поверхности (рис. 321). Согласно правилу, данному Фарадеемъ, направленіе тока въ проводникѣ AB (предыдущій рисунокъ) за время его движенія по верхней полуокружности (стрѣлка S) будетъ отъ B къ A (гл. I, § 3), когда же проводникъ пойдетъ по нижней полуокружности (стрѣлка S'), то направленіе тока въ немъ измѣнится на обратное, отъ A къ B.

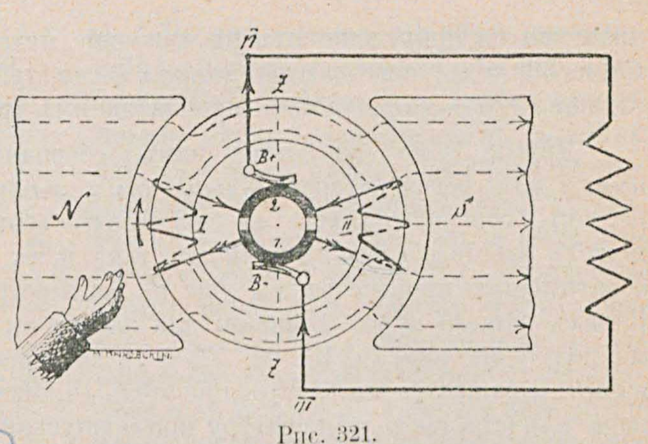


Рис. 321.

Если бы концы проводника прямо соединить клеммами съ концами внѣшней цѣпи, то и въ ней токъ былъ бы перемѣннымъ. Чтобы *выпрямить* токъ во внѣшней цѣпи, надо въ моментъ перемѣны направленія тока въ AB измѣнить на обратный порядокъ контактъ его концовъ со щетками X и Y. Въ положеніи проводника, показанномъ на рис. 320, токъ идетъ отъ B къ A, входитъ въ кольцо r', въ щетку Y, клемму K_1 и течетъ по замыкающему машину проводу отъ n къ m. Черезъ клемму K_2 возвращается въ щетку X, кольцо r и обратно въ проводникъ AB. Въ тотъ моментъ, когда направленіе тока въ послѣднемъ измѣнится и пойдетъ отъ A къ B, надо, чтобы изъ B онъ направился въ кольцо r', въ щетку Y, клемму K_1 и т. д. Достичь этой цѣли можно бы было, помѣстивъ рядомъ съ кольцами r и r' другую пару колецъ g и g' (на чертежѣ ихъ нѣтъ), при чемъ кольцо g, находящееся рядомъ съ r, соединить съ кольцомъ проводника A, а g^1, расположенное на другомъ концѣ оси, соединить съ B. Если въ моментъ измѣненія направленія тока въ проводникѣ передвинуть щетки X и Y съ колецъ r и r' на g и g', то направленіе тока во внѣшней цѣпи останется прежнимъ. Однако нѣтъ надобности въ устройствѣ такой второй пары колецъ. Достаточно разрѣзать кольца r и r' на двѣ изолированныхъ другъ отъ друга части и соединить одну половину каждаго кольца съ концомъ проводника A, а другую съ B. Если же обѣ щетки расположить у одного конца якоря (рис. 321), то и кольцо r' становится лишнимъ. Токъ во внѣшнемъ проводникѣ mn будетъ прямымъ, когда кольцо, какъ показано на чертежѣ, половиной 1-й соединено со щеткою B и концомъ внѣшняго провода m, а второй половиной съ B и n. Такое приспособленіе, дающее возможность индуктивный токъ перемѣннаго направленія преобразовать въ прямой токъ внѣшней цѣпи, называется въ машинахъ *коллекторомъ* (см. ч. III, гл. IV, § 9).

При вращеніи массивнаго желѣзнаго якоря между полюсами магнита въ немъ развиваются паразитные токи Фуко, нагрѣвающіе сердечникъ и тѣмъ безполезно тратящіе электрическую энергію. Дѣленіе массивнаго сердечника на отдѣльныя, изолированныя другъ отъ друга части: 1) усиливаетъ напряженность силового поля, 2) увеличиваетъ сопротивленіе токамъ Фуко (гл. I, § 7). Чтобы увеличить электродвижущую силу индуктивнаго тока, возбуждаемаго въ машинѣ, т. е. разность потенціаловъ на концахъ проводника, въ которомъ онъ возникаетъ, проводникъ дѣлаютъ весьма значительной длины и обвиваютъ имъ

сердечникъ по направленію образующихъ послѣдняго. Такое расположеніе проводника называется *обмоткой,* а отдѣльныя части ея, соединенныя съ коллекторомъ,— *секціями.* Существующія конструкціи динамо прямого тока весьма различны, отличаясь другъ отъ друга главнымъ образомъ формою якоря и расположеніемъ обмотки.

§ **3. Динамо съ кольцевымъ якоремъ.** Кольцевой якорь, какъ было указано при описаніи электродвигателя, представляетъ полый желѣзный цилиндръ, концентрически закрѣпленный на оси. Высота цилиндра незначительна по сравненію съ его діаметромъ, такъ что якорь имѣетъ форму кольца. На поверхности кольца намотано по направленію образующихъ четное число секцій. Въ простѣйшемъ случаѣ (рис. 321) ихъ двѣ, расположенныхъ діаметрально одна противъ другой. По числу ихъ коллекторъ въ этомъ случаѣ раздѣленъ на два сектора. Черезъ коллекторъ секціи включаются въ соединеніе со щетками послѣдовательно. Въ положеніи, указанномъ на чертежѣ, направленіе тока въ обмоткѣ перпендикулярно къ плоскости чертежа, а якорь вращается по направленію часовой стрѣлки, такъ что токъ входитъ въ секторъ 2-й, въ щетку B и черезъ внѣшній проводникъ возвращается въ щетку B, секторъ 1-й и обратно въ обмотку.

Желѣзный сердечникъ сгущаетъ въ себѣ силовыя линіи поля. Линія ZZ представляетъ центральную линію поля, при пересѣченіи которой индуктивный токъ мѣняетъ направленіе въ обмоткѣ. Сила тока въ этотъ моментъ падаетъ до нуля. Максимальной силы токъ достигаетъ въ положеніи обмотки, изображенномъ на чертежѣ, когда контуръ составляющаго ее проводника пересѣкаетъ силовыя линіи поля нормально ихъ направленію. Направленіе тока въ обѣихъ секціяхъ одинаково, перпендикулярно плоскости чертежа и при томъ отъ наблюдателя. Въ тотъ моментъ, когда якорь сдѣлаетъ полъ-оборота, токъ будетъ, имѣя наибольшую силу, течь по направленію къ наблюдателю. Въ этомъ новомъ положеніи секторъ коллектора 1-й поднимается вверхъ, а 2-й опустится внизъ. Такимъ образомъ, токъ входитъ въ секторъ 1-й и возвращается черезъ секторъ 2-й. Слѣдовательно, направленіе его во внѣшней цѣпи при перемѣнѣ направленія въ обмоткѣ не измѣнится. Онъ все время будетъ входить въ верхнюю щетку и возвращаться въ нижнюю. Хотя кольцевой якорь и имѣетъ свои достоинства, какъ-то: легкость ремонта и отсутствіе причинъ для порчи изоляціи обмотки, но и недостатки его велики. Значительная часть его обмотки является безполезной, такъ какъ не пересѣкаетъ при вращеніи силовыя линіи магнитнаго потока. Необходимость вводить эту безполезную часть обмотки увеличиваетъ размѣры якоря. Въ настоящее время онъ представляетъ почти лишь историческій интересъ, будучи вытѣсненъ въ практикѣ барабаннымъ якоремъ.

§ **4. Динамо съ барабаннымъ якоремъ.** Въ 1872 г. *Гефнеръ фонъ Альтенекъ* впервые ввелъ въ практику такъ назыв. *барабанный якорь.* Этотъ якорь представляетъ собою короткій желѣзный цилиндръ, на поверхности котораго почти параллельно образующимъ намотана обмотка. Рис. 322 изображаетъ якорь въ положеніи, когда ось его перпендикулярна къ плоскости чертежа, такъ что обмотка видна лишь на основаніи цилиндра при переходѣ съ одной части боковой поверхности на другую. При вращеніи якоря по часовой стрѣлкѣ между полюсами N и S, по правилу Фарадея (§ 3, гл. I), токъ будетъ идти въ части

обмотки, ближайшей къ полюсу S, по направленію къ смотрящему на чертежъ, а въ другой части въ обратную. Щетка I, къ которой притекаютъ токи по частямъ обмотки на торцѣ, будетъ вводить токъ въ цѣпь, а щетка II отводить его въ обмотку, какъ указано на чертежѣ стрѣлками. Правильное расположеніе обмотки, особенно въ многополюсныхъ машинахъ, на барабанномъ якорѣ представляетъ одну изъ труднѣйшихъ задачъ при конструированіи машинъ. Ремонтъ обмотки весьма затруднителенъ, такъ

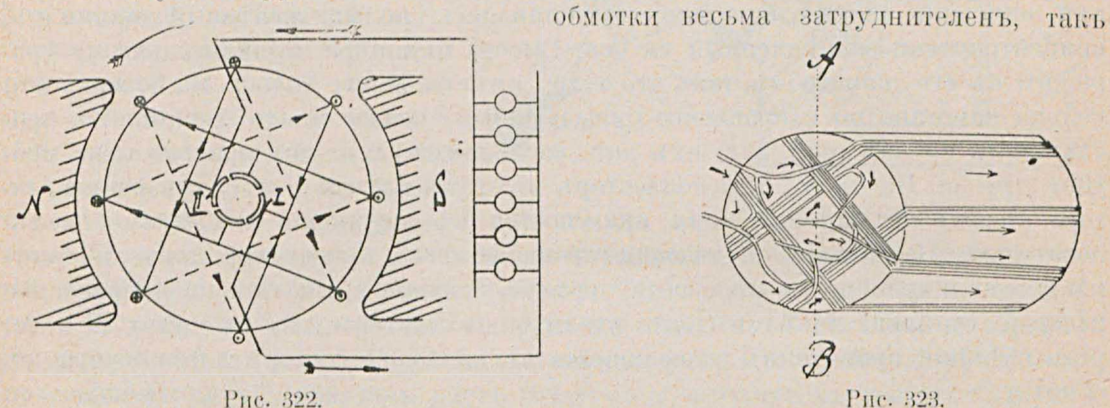


Рис. 322. Рис. 323.

какъ въ случаѣ порчи хотя бы одного провода приходится разматывать всю обмотку. Изоляція обмотки на торцахъ легко подвергается порчѣ въ мѣстахъ пересѣченія проводовъ различныхъ напряженій. Незамѣнимымъ же достоинствомъ такого якоря является расположеніе значительной части обмотки такъ, что она при вращеніи якоря пересѣкаетъ силовыя линіи магнитнаго потока. Рис. 323 изображаетъ перспективный видъ барабанной обмотки.

§ 5. Діаграмма прямого тока машины съ двумя секціями. Выпрямимъ окружность, по которой вращается проводникъ AB (рис. 321), и возстановимъ мысленно въ каждой точкѣ ея перпендикуляръ, на которомъ отложимъ въ условномъ масштабѣ *силу тока* въ проводникѣ въ моментъ нахожденія его въ данной точкѣ окружности. Соединяя вершины полученныхъ вертикальныхъ отрѣзковъ прямыхъ, получимъ кривую, характеризующую измѣненіе силы тока въ проводникѣ за время полнаго оборота проводника AB (рис. 324). Въ началѣ и концѣ горизонтальнаго отрѣзка, изображающаго путь, пройденный проводникомъ въ теченіе одного оборота якоря, кривая эта лежитъ на самомъ отрѣзкѣ. Вертикаль, выражающая силу тока, равна нулю. При поворотѣ отъ начальнаго положенія, взятаго на линіи безразличія ZZ, на 90° сила тока достигнетъ максимума: проводникъ находится при этомъ положеніи въ ближайшемъ разстояніи къ полюсу магнита. При поворотѣ AB на 180° отъ начальнаго положенія онъ опять пересѣкаетъ линію безразличія, и сила тока въ немъ падаетъ до 0. Повороту на 270° соотвѣтствуетъ ближайшее разстояніе проводника отъ другого полюса и второй моментъ, когда сила тока въ немъ, а слѣдовательно и въ цѣпи, достигаетъ наибольшаго значенія. Завершеніе оборота полностью на 360° приводитъ проводникъ къ начальному положенію. При наличіи двухъ секцій обмотки видъ кривой, изображающей измѣненіе силы тока во внѣшней цѣпи, не измѣнится. Когда сила тока

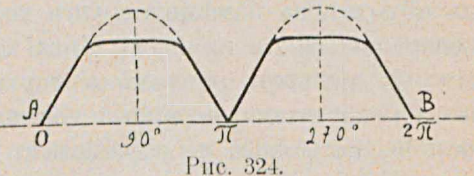


Рис. 324.

секціи 1-й будетъ, положимъ, равна нулю, то и въ секціи 2-й она будетъ 0, такъ какъ въ этотъ моментъ секція 2-я будетъ, какъ и 1-я, пересѣкать ось ZZ. Если бы мы на діаграммѣ чертежа 324 захотѣли отложить силу тока второй секціи, то должны были бы начать ея построеніе съ точки π, соотвѣтствующей разстоянію полуокружности отъ начальной точки движенія первой секціи.

§ 6. **Выпрямленіе тока.** Чтобы *выпрямить* токъ въ цѣпи не только по направленію, но и по силѣ, т. е. чтобы избѣгнуть рѣзкихъ колебаній (пульсаціи) силы тока за время каждаго оборота якоря, въ практикѣ примѣняютъ якоря съ 4-мя, 6-ю и т. д. четнымъ числомъ секцій и такимъ же числомъ секторовъ коллектора (рис. 325). На нашемъ рисункѣ изображенъ якорь съ 4-мя секціями. Каждый секторъ его коллектора соединенъ съ двумя сосѣдними секціями, а каждая секція съ двумя сосѣдними секторами. Всѣ секціи, лежащія въ моментъ вращенія, изображенный на чертежѣ, въ одной половинѣ силового поля, соединены другъ съ другомъ и съ одной изъ щетокъ, а лежащія въ другой половинѣ поля—между собой и со второй щеткой. Теорія дѣйствія такихъ машинъ ничѣмъ не отличается отъ машинъ съ двумя секціями, но сила тока, посылаемаго ими во внѣшнюю цѣпь, ни при какомъ положеніи якоря не падаетъ до нуля. Въ моментъ, когда сила тока въ какой-либо парѣ секцій равна нулю, въ парѣ, отстоящей отъ нея на 90°, сила тока достигаетъ своего максимума и обратно.

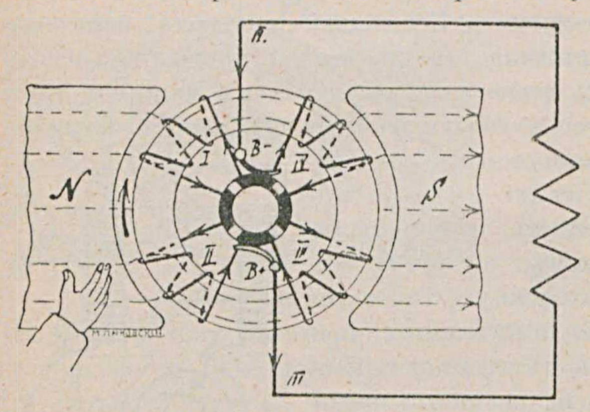
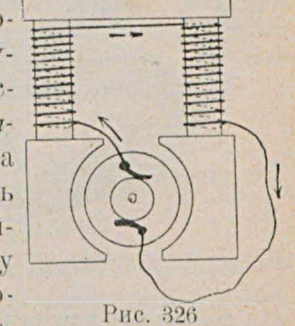


Рис. 325.

§ 7. **Самовозбуждающіяся машины.** Въ первоначальныхъ конструкціяхъ механическихъ генераторовъ электрическаго тока для образованія магнитнаго поля служили стальные постоянные магниты. Такова была первая по времени устройства машина *Пиксіи* (1832 г.). Въ 1866 г. *Вильде* примѣнилъ для той же цѣли электромагнитъ, токъ въ обмоткѣ котораго возбуждался внѣшнимъ источникомъ постояннаго тока. Въ томъ же году *Сименсъ* высказалъ предположеніе о возможности образованія силового поля токомъ, возбуждающимся въ самой машинѣ. Въ слѣдующемъ 1867 г. *Леддъ* впервые осуществилъ эту мысль, устроивъ *самовозбуждающуюся машину*, т. е. собственно *динамо* машину, въ которой обмотка электромагнита включена въ цѣпь. Схематическій рис. 326 показываетъ, что токъ изъ верхней щетки входитъ въ обмотку электромагнита и, пройдя по внѣшней цѣпи, въ которой онъ совершаетъ работу (напримѣръ: накаливаетъ электрическія лампочки, приводитъ въ движеніе электромоторъ и т. п.), возвращается черезъ нижнюю щетку въ обмотку якоря. Въ электромагнитѣ такихъ машинъ для приведенія ихъ въ дѣйствіе долженъ существовать остаточный магнитизмъ (ч. I, гл. III, § 2), т. е. сердечникъ не долженъ дѣлаться изъ очень мягкаго желѣза.


Рис. 326

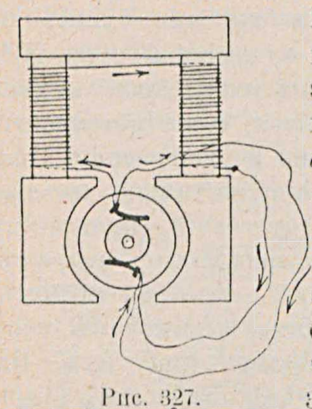


Рис. 327.

Первые же обороты машины, возбудивъ индуктивный токъ въ обмоткѣ тѣмъ самымъ усиливаютъ напряженіе поля электромагнита. Такой способъ введенія обмотки магнита въ цѣпь (предложенный Сименсомъ) носитъ названіе *послѣдовательнаго*, а машины называются *сэріесъ-динамо*. Въ машинахъ съ простымъ отвѣтвленіемъ, или *шунтъ-динамо*, предложенныхъ *Уитстономъ*, отъ щетокъ коллектора идутъ двѣ цѣпи: одна внѣшняя, другая, составляющая обмотку электромагнита. Послѣдней придаютъ настолько большое сопротивленіе, что въ нее вступаетъ лишь незначительная часть всего тока, развиваемаго машиной (рис. 328). Такой способъ возбужденія будетъ носить названіе *параллельнаго*. Въ машинахъ со *смѣшаннымъ* возбужденіемъ, т. н. *компаундъ динамо*, элекромагнитъ имѣетъ двѣ обмотки: одну съ малымъ сопротивленіемъ, входящую въ общую цѣпь со внѣшнимъ проводникомъ, а другую съ значительнымъ сопротивленіемъ, отвѣтвленную. Такое сочетаніе дано *Депре*. Первое соединеніе примѣняется при большихъ внѣшнихъ сопротивленіяхъ цѣпи, второе, когда внѣшнее сопротивленіе не велико, и, наконецъ, третье пригодно для обоихъ случаевъ. Въ немъ при возрастаніи внѣшняго сопротивленія поле развивается главнымъ образомъ отвѣтвленнымъ проводникомъ, а при убываніи главной обмоткой (рис. 328).

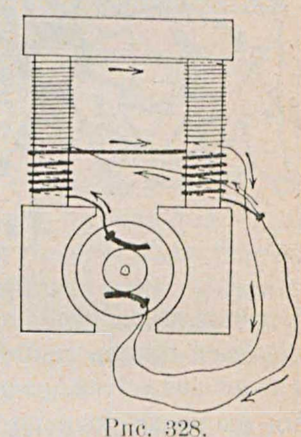


Рис. 328.

Послѣдовательное возбужденіе представляется опаснымъ при внезапномъ уменьшеніи сопротивленія внѣшней цѣпи (при короткомъ замыканіи). Сила тока при этомъ возрастаетъ, какъ отъ уменьшенія общаго сопротивленія, такъ и отъ усиленія магнитнаго поля электромагнита, вызывающаго увеличеніе электровозбудительной силы якоря. Обыкновенно во избѣжаніе порчи машины внѣшняя цѣпь при послѣдовательномъ возбужденіи соединяется съ обмоткой электромагнита помощью предохранителя (§ 15, гл. XIV, ч. III). Въ свою очередь, возрастаніе сопротивленія въ цѣпи вызываетъ ослабленіе возбужденія.

Обозначимъ черезъ J полную силу тока динамо, E—полную электровозбудительную силу, i—силу тока во внѣшней цѣпи, i_1—въ отвѣтвленной обмоткѣ электромагнита, e—эл. возб. силу у борновъ машины, а черезъ W сопротивленіе внѣшной цѣпи, w_1 и w_2 сопротивленія обмотки электромагнита при послѣдовательномъ и параллельномъ возбужденіи и, наконецъ, черезъ w_3 сопротивленіе арматуры.

Тогда для сэріесъ-машины найдемъ полную силу тока:

$$J=i=\frac{e}{W};\ E=i(W+w_1+w_3)=e\left(1+\frac{w_1}{W}+\frac{w_3}{W}\right).$$

Для шунтъ-машины:

$$J=i+i_1=\frac{e}{W}+\frac{e}{w_1}=e\left(\frac{1}{W}+\frac{1}{w_1}\right);$$

$$E=e+Jw_3=e\left(1+\frac{w_3}{W}+\frac{w_3}{w_1}\right):$$

для компаундъ-машины съ длиннымъ отвѣтвленіемъ:

$$J=i+i_1=i+\frac{e}{w_1}=\frac{e}{W}+\frac{e}{w_1}=e\left(\frac{1}{W}+\frac{1}{w_1}\right);$$

$$E=e+J(w_1+w_3)=e+e\left(\frac{1}{W}+\frac{1}{w_1}\right)(w_1+w_3)=e\left[1+(w_1+w_3)\left(\frac{1}{W}+\frac{1}{w_1}\right)\right];$$

а для компаундъ-машины съ короткимъ отвѣтвленіемъ:

$$J=i+i_1=i+\frac{e+iw}{w_2}=\frac{e}{W}\ (1+\frac{W+w_1}{w_2});$$

$$E=e+Jw_3+iw=e\ [1+\frac{1}{W}\ (1+\frac{W+w_1}{w_2})\ w_3+\frac{w_1}{W}].$$

§ 8. Полученіе перемѣннаго тока. Принципъ устройства *альтернатеровъ,— машинъ перемѣннаго тока*, былъ впервые высказанъ *Яблочковымъ*. Въ иностранной литературѣ обычно считаютъ ихъ изобрѣтателемъ *Гефнеръ-Альтенека*. Схема устройства такой машины, для большей ясности всего съ 1-й секціей обмотки якоря, и показана на рис. 329. На немъ буквами r_1 и r_2 означены концентричныя другъ другу и оси якоря мѣдныя кольца. Токъ изъ нихъ отводится во внѣшнюю цѣпь щетками X и Y. При вращеніи якоря въ направленіи движенія часовой стрѣлки, отъ стрѣлки 2-й къ 1-й, токъ идетъ въ цѣпи отъ a къ кольцу r_1, въ щетку X, во внѣшнюю цѣпь и черезъ щетку Y и кольцо r_2 обратно въ обмотку. При движеніи обмотки по полуокружности отъ 1-й ко 2-й стрѣлкѣ чертежа (сверху внизъ) направленіе тока въ ней будетъ обратнымъ: онъ войдетъ въ кольцо r_2, въ щетку Y и черезъ цѣпь вернется въ щетку X, кольцо r_1, въ обмотку. Динамо, въ которой направленіе тока мѣняется двукратно въ теченіе каждаго оборота якоря, носитъ названіе *двухполюсной*, если же многократно, то многополюсной динамо. Рисунокъ 330 изображаетъ схему многополюсной динамо съ кольцевымъ электромагнитомъ, окружающимъ якорь и имѣющимъ 8 выступовъ съ 8-ю полюсами, поперемѣнно сѣверными и южными. Обмотка якоря машины раздѣлена на восемь секцій. При переходѣ каждой изъ секцій отъ того полюса, противъ котораго она находилась въ данный моментъ, къ слѣдующему, противоположному по знаку, направленіе тока въ ней мѣняется. Конецъ и начало обмотки всѣхъ секцій соединены съ кольцами коллектора и щетками, которыя, въ свою очередь, соединены съ концомъ и началомъ внѣшней цѣпи. Направленіе обмотки въ сосѣднихъ секціяхъ противоположное, а такъ какъ онѣ стоятъ одновременно противъ разноименныхъ полюсовъ, то, благодаря этому, направленіе тока въ нихъ будетъ въ каждой половинѣ поля одно и то же. Электродвижущая сила сосѣднихъ секцій не уничтожается взаимно, какъ это было бы, если бы обмотка ихъ шла въ одномъ направленіи, а удваивается. Въ примѣрѣ,

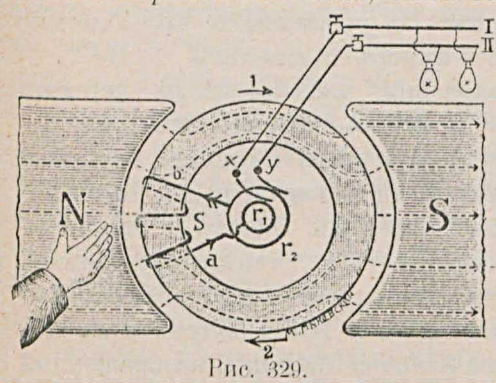


Рис. 329.

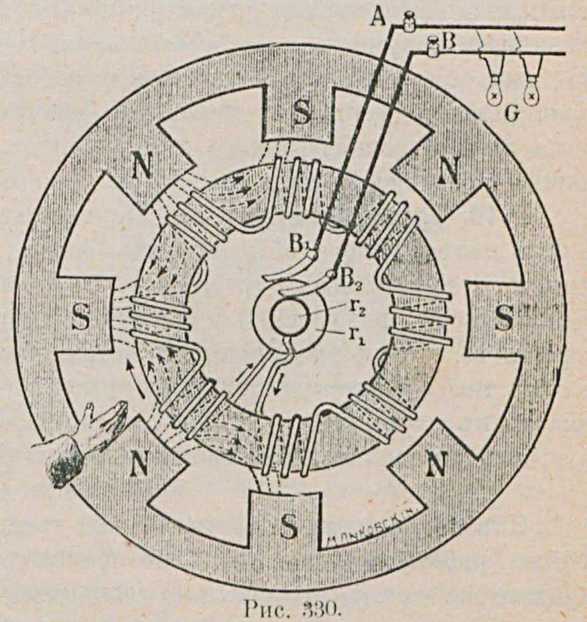


Рис. 330.

изображенномъ на нашемъ чертежѣ, при восьми секціяхъ электродвижущая сила въ 8 разъ больше, чѣмъ при одной. Направленіе тока въ каждой секціи, а слѣдовательно и въ якорѣ, мѣняется 8 разъ въ теченіе одного его оборота. Сила тока и электродвижущая сила въ машинахъ перемѣннаго тока непрерывно измѣняются. Тѣмъ не менѣе ихъ можно измѣрять, какъ среднія въ періодъ одной фазы. Такимъ образомъ, говоря, что дѣйствующая сила перемѣннаго тока—i амперъ, а дѣйствующая эл. дв. сила—e вольтъ, указываютъ, что дѣйствіе перемѣннаго тока равно дѣйствію прямого въ i амперъ и e вольтъ.

§ 9. Полученіе многофазнаго тока. Въ положеніи, указанномъ на чертежѣ 330, сила тока, развиваемаго многокатушечной машиной перемѣннаго тока, будетъ наибольшей. Когда же всѣ секціи займутъ при дальнѣйшемъ вращеніи положеніе среднее между двумя сосѣдними полюсами магнита, то въ этотъ моментъ направленіе тока мѣняется, а сила падаетъ до нуля. Однако и въ машинѣ съ перемѣннымъ токомъ, какъ и съ прямымъ, этотъ недостатокъ устранимъ. Машины, въ которыхъ колебанія силы тока уменьшены, называются *многофазными*, а токъ, ими развиваемый, *многофазнымъ токомъ*. Чтобы получить въ цѣли *двухфазный токъ*, между секціями и обмоткой якоря машины, изображенной на рис. 330, надо представить вторую серію секцій, совершенно изолированную отъ первой и независимо отъ нея соединенную съ коллекторомъ. Токъ въ секціяхъ второй серіи будетъ наиболѣе силенъ въ моменты, когда секціи первой серіи стоятъ между магнитными полюсами, т. е. когда сила тока въ нихъ падаетъ до нуля, такъ какъ въ эти моменты секціи второй серіи противостоятъ полюсамъ. Распредѣляя симметрично три отдѣльныхъ обмотки изъ равнаго числа секцій, получимъ *трехфазный токъ*. И при такомъ устройствѣ секціи каждой изъ обмотокъ соединены между собою, а отдѣльныя серіи ихъ тщательно изолированы другъ отъ друга. Въ практикѣ наиболѣе употребительнымъ типомъ машинъ многофазнаго тока являются трехфазныя машины, предложенныя нашимъ соотечественникомъ, *М. О. Доливо-Доброволькимъ*, въ 1891 г.

§ 10. Трансформаторы. Еще при описаніи свѣчи Яблочкова (ч. III, гл. XIV, § 6) и далѣе, говоря объ опытахъ Тесла (гл. V, § 12), намъ приходилось упоминать о *трансформированіи* тока. Каждая катушка Румкорфа, въ которой толщина обмотки внутренней и внѣшней спирали различна, служитъ трансформаторомъ тока. При увеличеніи діаметра обмотки ея сопротивленіе уменьшается, а сила тока увеличивается, при уменьшеніи—обратно. Работы, производимыя токомъ въ первичной и вторичной спираляхъ трансформатора, равны между собою; слѣдовательно, мы имѣемъ право написать такое равенство:

$$ie = i_1 e_1, \text{ или } i^2 w = i_1^2 w_1.$$

Изъ него видно, что помощью трансформатора нельзя увеличить количество работы, но при томъ же произведеніи силы тока на его напряженіе множители могутъ произвольно мѣняться. Токъ малой силы, но высокаго напряженія, будетъ производить такую же работу, какъ сильный токъ низкаго напряженія, если число вольтъ-амперъ обоихъ токовъ одинаково. Сила тока, какъ мы знаемъ (ч. III, гл. II, § 5), равна: $i = \frac{e}{w}$, откуда $e = iw$; слѣдовательно, для трансформированія слабыхъ токовъ высокаго напряженія въ сильный токъ низкаго напряженія надо уменьшить сопротивленіе, т. е., какъ сказано, увеличить сѣченіе провода.

Первый, практически примѣнимый трансформаторъ устроенъ въ 1883 году *Жибсомъ* и *Голяромъ*. Съ 1885 г. вошелъ въ употребленіе трансформаторъ *Циперновскаго*; онъ (какъ и другіе трансформаторы позднѣйшихъ конструкцій) состоитъ изъ двухъ обмотокъ и желѣзнаго сердечника. Одна изъ обмотокъ, т. н. *первичная*, длинная, но тонкая, проводитъ слабый токъ высокаго напряженія, другая *вторичная*, болѣе короткая, но толстая. Токъ, идущій по первичной обмоткѣ, возбуждаетъ магнитное поле въ желѣзномъ сердечникѣ. Во вторичной же обмоткѣ подъ вліяніемъ этого поля возникаетъ индуктивный токъ большой силы, но слабаго напряженія.

§ 11. **Электрическая передача энергіи.** Если приборъ для преобразованія какого-либо вида энергіи въ механическую работу отстоитъ на извѣстномъ разстояніи отъ мѣста приложенія силы, производящей работу, то между двигателемъ и механизмомъ устраиваютъ т. н. *трансмиссію* или *передачу*. На небольшія разстоянія обыкновенно устраиваютъ гибкую ременную передачу, напр., отъ вала паровой машины къ шкивамъ станковъ и т. п. Передача такимъ путемъ работы на значительныя разстоянія невыгодна, такъ какъ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія быстро уменьшается съ возрастаніемъ разстоянія между двигателемъ и приводимымъ имъ въ движеніе механизмомъ.

Трансформаторы электрическаго тока устраняютъ этотъ недостатокъ, позволяя доводить протяженіе трансмиссіи до нѣсколькихъ десятковъ и даже сотенъ верстъ, при потерѣ не болѣе 5% развиваемой энергіи на преодолѣніе вредныхъ сопротивленій, т. е. доводя коэффиціентъ полезнаго дѣйствія до 95%. Возможность передачи работы на разстояніе помощью электрическаго тока впервые была указана французскимъ инженеромъ *Фонтеномъ* въ 1873 г. Въ настоящее время на всѣхъ благоустроенныхъ заводахъ работа передается съ центральной станціи завода въ мастерскія помощью электрической передачи. Она же позволяетъ использовать дешевые источники энергіи, удаленные отъ мѣстъ ея потребленія, напр., энергію паденія воды водопадовъ и пороговъ. Рис. 331 схематически изображаетъ передачу работы на разстояніе при помощи электрическаго тока. Въ топкѣ локомобиля *L* сжигается топливо: теплота, развивающаяся при химическомъ процессѣ окисленія топлива кислородомъ воздуха, переводитъ воду, налитую въ котелъ локомобиля, въ паръ, производящій при расширеніи полезную работу, часть которой затрачивается на вращеніе динамо *D*. Токъ, развиваемый динамо, идетъ по проводамъ въ электромоторъ *M*, приводя валъ послѣдняго во вращеніе, т. е. служа источникомъ механической работы, производимой двигателемъ. Передавать на большое разстояніе токъ значительной силы невыгодно. Для этого понадобятся толстые провода (малое сопротивленіе!).

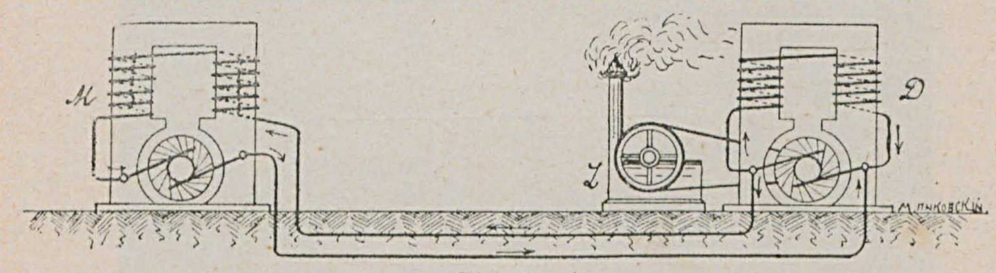


Рис. 331.

Предварительно трансформируютъ его въ токъ малой силы, но высокаго напряженія. Провода, несущіе такой токъ, имѣя потенціалъ въ десятки тысячъ вольтъ, представляются не безопасными и уже не разъ были причиною смерти лицъ, по неосторожности или при разрывѣ провода прикоснувшихся къ нимъ. На мѣстѣ потребленія токъ вновь трансформируютъ въ токъ большой силы, но малаго напряженія. Образцомъ передачи электрической энергіи на большое разстояніе была пробная установка упомянутаго Доливо-Добровольскаго между Лауфенскимъ водопадомъ и Франкфуртомъ на-Майнѣ. Водяная турбина въ 300 *HP*, установленная въ Лауфенѣ, приводила въ движеніе генераторъ трехфазнаго тока, развивавшій 1400 амперъ при 50 вольтахъ напряженія на фазу, т. е. всего около 200 тысячъ уаттъ. Токъ направлялся въ трансформаторъ, повышавшій его напряженіе до 25000 вольтъ. По проводамъ токъ высокаго напряженія шелъ въ Франкфуртъ, отстоящій отъ Лауфена въ 175 километрахъ, гдѣ вновь трансформировался въ токъ, имѣющій напряженіе въ 100 вольтъ, и питалъ лампы накаливанія и электромоторы.

Въ настоящее время болѣе 40% всей работы, развиваемой паденіемъ воды Ніагарскаго водопада, передается подобнымъ образомъ въ различные пункты ея использованія, на разстоянія свыше 500 клм. Напряженіе передаваемаго тока въ опытныхъ установкахъ доходитъ до 750,000 вольтъ.

Дополненія.

Къ § 2, гл. II, ч. I. *П. Вейсманъ* предположилъ существованіе *магнитона,* элементарнаго магнитнаго напряженія, аналогичнаго электрону (см. ниже). *К. Оннесъ* и *Вейсъ,* въ 1912 г., опредѣлили величину этого элементарнаго напряженія для атомовъ ферромагнитныхъ тѣлъ.

Къ § 9, гл. VI, ч. II. Первыя попытки фотографировать искровый разрядъ относятся еще къ 1865 году, но только въ 1888 г. *Трувело* получилъ отчетливыя изображенія искръ. *Ледюкъ* для полученія однополюсной искры соединялъ металлическій листъ съ однимъ изъ полюсовъ машины, на листъ клалъ фотографическую пластинку и прикасался къ ней остріемъ, соединеннымъ съ другимъ полюсомъ. Въ зависимости отъ того, съ положительнымъ или отрицательнымъ

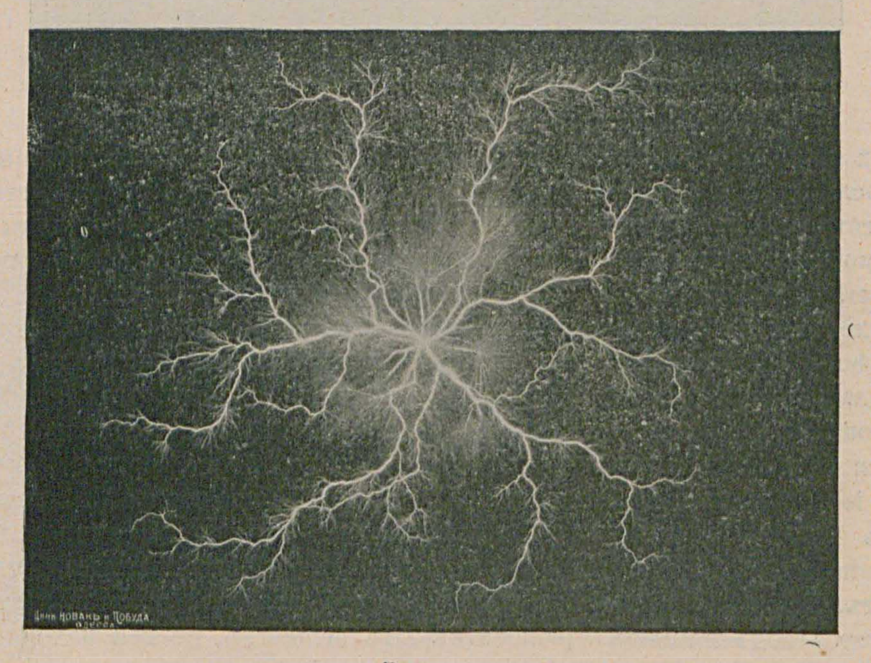


Рис. 332.

полюсомъ было соединено остріе, искра давала характерное для положительнаго (рис. 332) или отрицательнаго (рис. 333) разряда изображеніе. По современному воззрѣнію электрическій разрядъ является слѣдствіемъ іонизаціи діэлектрика (въ данномъ случаѣ воздуха), окружающаго полюсы машины. Іоны положительнаго разряда имѣютъ большую массу и меньшую скорость движенія, чѣмъ іоны, заряженные отрицательно. Послѣдніе въ своемъ движеніи даютъ начало новымъ іоннымъ потокамъ, взаимно отталкивающимся и придающимъ искрѣ характерный перистый видъ.

Къ § 1, гл. VII, ч. II. Наблюденія *Эхнера* (1886 г.) и др. показали, что при нормальныхъ условіяхъ въ сухую погоду поверхность земного шара

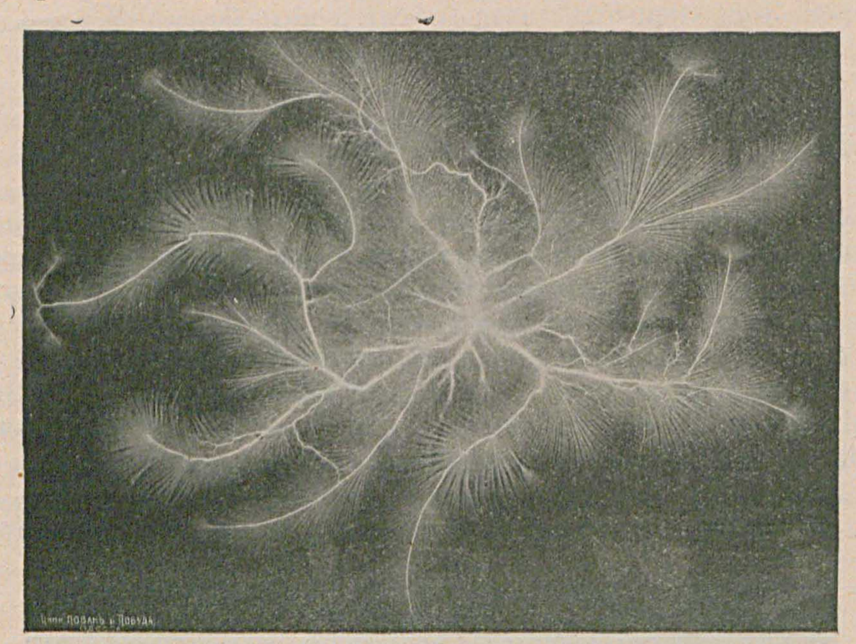


Рис. 333.

окружена силовымъ электрическимъ полемъ, при чемъ положительный потенціалъ послѣдняго возрастаетъ съ высотой. Проводящая же поверхность земной коры несетъ отрицательный зарядъ, компенсирующійся положительнымъ зарядомъ атмосферы. Такъ какъ воздухъ всегда обладаетъ нѣкоторой электропроводностью, то электрическое поле земли стремится къ уничтоженію разности потенціаловъ. Несмотря на такое стремленіе разность потенціаловъ продолжаетъ имѣть мѣсто. Предполагая, что причиною электропроводности воздуха является его радіоактивность (см. ч. IV, гл. IV, § 7), надо думать, что отрицательные іоны, проникая въ землю, отдаютъ ей отрицательный зарядъ, который концентрируется на выступающихъ частяхъ земной поверхности, притягивая положительные іоны воздуха. Дѣйствительно, наблюдаютъ, что воздухъ вблизи горныхъ вершинъ имѣетъ значительный положительный зарядъ. Причиною іонизаціи воздуха, по мнѣнію *Рудольфа* (1903 г.), служатъ ультрафіолетовые лучи солнца. Наоборотъ, *Эбертъ* (1904 г.) предполагаетъ, что воздухъ, проникая въ почву, іонизируется подъ вліяніемъ радіоактивныхъ веществъ, въ ней находящихся, и, выходя на поверхность, отдаетъ отрицательные іоны землѣ, унося въ атмосферу избытокъ положительныхъ.

На поверхности солнца среди газовъ его короны безпрестанно возникаютъ, то усиливаясь, то ослабѣвая, огромные по мощности, отрицательные заряды электричества, которые, разливаясь по всей массѣ газообразной оболочки, окружающей солнце,—разбиваютъ ея молекулы на многочисленные іоны,—отрицательно заряженныя частицы.

Благодаря этому всѣ тѣ новые потоки газовъ, ежесекундно вырывающіеся изъ нѣдръ солнца въ эту безчисленную массу іоновъ, не могутъ „смѣшаться“

 Газообразное вещество

съ ними въ цѣлое, газообразное вещество (какъ было бы съ неіонизованной оболочкой солнца), а моментально раздѣляясь и раздробляясь на многочисленныя мельчайшія частицы, собираются, *конденсируются* вокругъ іоновъ. Не будетъ рискованнымъ сказать, что наименьшія сконденсированныя на іонахъ частицы могутъ имѣть діаметръ 15 μμ; другія, конечно, больше.

Еще въ 1903 году нашимъ соотечественникомъ, московскимъ профессоромъ *Лебедевымъ*, было обнаружено и доказано существованіе давленія свѣта, а послѣдовавшія затѣмъ вычисленія выяснили его интенсивность. Такъ, частицы желѣза, имѣющія даже 220 μμ въ діаметрѣ, *уравновѣшиваютъ* силу своего притяженія массой солнца давленіемъ его свѣта; и, слѣдовательно, частицы съ діаметромъ меньшимъ въ 40 разъ (точнѣе 220 : 5=44) и обладающія, можетъ быть, меньшимъ чѣмъ желѣзо удѣльнымъ вѣсомъ, отталкиваются свѣтомъ солнца съ огромной силой и уносятся далеко въ міровое пространство по путямъ, сначала нѣсколько искривленнымъ въ сторону обратную вращенію солнца, а потомъ пріобрѣтая прямолинейныя и нормальныя къ поверхности солнца траэкторіи. Эти частицы, достигая въ своемъ полетѣ черезъ міровое пространство атмосферъ планетъ, задерживаются ихъ верхними слоями и *заряжаютъ ихъ своимъ электричествомъ*.

Такъ какъ верхніе слои атмосферы сильно разрѣжены, то тихіе разряды электричества *), несомнѣнно слѣдующіе за зарядженіемъ отрицательными частицами, должны породить свѣтовое явленіе, вполнѣ аналогичное катоднымъ лучамъ. И дѣйствительно, по изслѣдованіямъ *Паульсена* свѣтовыя явленія (не тѣ, конечно, которыя являются слѣдствіемъ оптическаго обмана) нашей атмосферы обнаруживаютъ по своимъ свойствамъ поразительное сходство съ потоками катодныхъ лучей; даже та странная, пучкообразная структура сѣверныхъ сіяній (рис. 334), прекрасно объясняется этой аналогіей. Потоки отрицательныхъ частицъ всегда стремятся расположиться вдоль силовыхъ линій магнитнаго поля и пучки сѣвернаго сіянія всегда и сохраняютъ то направленіе, которое обрисовываетъ пути силовыхъ линій земного магнита. Не надо забывать, что катодные лучи производятъ свѣченіе только въ разрѣженныхъ частяхъ воздуха, но и теряютъ способность свѣтиться при слишкомъ маломъ давленіи. Поэтому свѣченіе начинается за линіей *CD* (рис. 335), обозначающей границу ощутительнаго давленія атмосферы,—и прекращается за *AB*,—послѣ которой давленіе на столько незначительно, что не можетъ обнаружить свѣченія. Пути силовыхъ линій (пунктирныя), распространяясь далѣе къ другому полюсу и по-

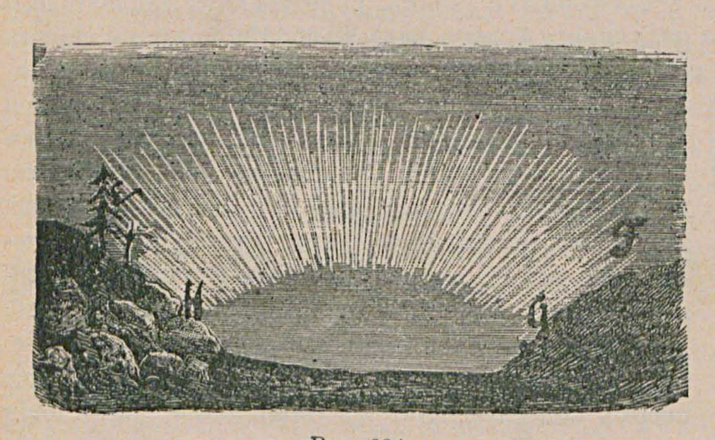


Рис. 334.

*) Бурные разряды, грозы,—явленіе сравнительно рѣдкое, тихіе же разряды происходятъ постоянно.

дымаясь выше, уже не обнаруживаются свѣченіемъ и такимъ образомъ сіянія строго ограничены полярнымъ кругомъ. Если вы мысленно помѣстите сіяніе *EHGF*, изображенное на рис. 334, между линіями *AB* и *CD*, чтобы соотвѣтствующія точки совпали, то ясно представите описываемую картину сѣвернаго сіянія и поймете причину его фигуры.

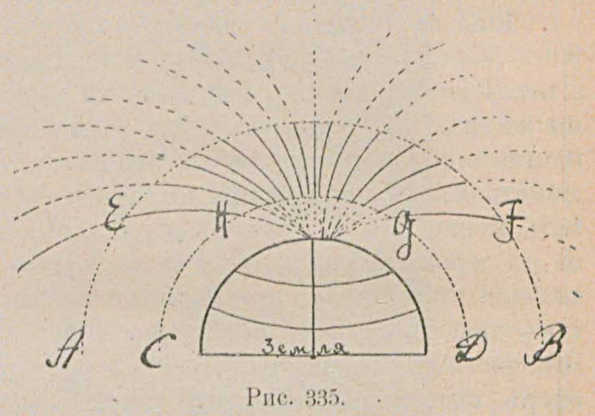


Рис. 335.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что въ годы повышенной солнечной дѣятельности, во время наиболѣе частыхъ изверженій и полярныя сіянія должны появляться чаще и быть сильнѣе выраженными, что и наблюдается на самомъ дѣлѣ. При повышенной дѣятельности солнца отрицательные заряды верхнихъ слоевъ атмосферы увеличиваются, а вслѣдствіе воздушныхъ теченій возникаютъ токи, которые, подчиняясь законамъ дѣйствій токовъ на магнитъ, вызываютъ магнитныя бури земли, періоды которыхъ, естественно, совпадаютъ съ періодами солнечной дѣятельности.

Прослѣдимъ теперь за тѣми силами, которымъ подчинены отрицательныя частицы, находясь уже въ атмосферѣ планетъ. Очевидно, отталкивательная сила свѣта не исчезла совсѣмъ, хотя и уменьшилась въ виду увеличившагося разстоянія отъ солнца. Въ такомъ случаѣ эти капельки, а затѣмъ и всѣ, сконденсированныя уже на іонахъ атмосферныхъ газовъ, подвергаются также отталкивательной силѣ солнечнаго излученія. А такъ какъ наиболѣе мощный зарядъ получается на экваторѣ, гдѣ солнце выше всего и гдѣ, благодаря болѣе интенсивному излученію, больше всего іонизируется воздухъ, то и разрядъ получится наибольшій въ плоскости эклиптики. Отсюда будетъ казаться, что изъ мѣстности *A* (рис. 336) будутъ исходить два пучка отрицательныхъ частицъ въ противоположную отъ солнца сторону. Благодаря вращенію земли, правый пучекъ содержитъ больше частицъ; и въ сумерки будетъ виднѣться блѣдное сіяніе, испускаемое этимъ потокомъ и ослабѣвающее вверхъ надъ горизонтомъ вслѣдствіе увеличенія разстоянія. Такимъ образомъ каждая планета обладаетъ подобнымъ хвостомъ, состоящимъ изъ іоновъ атмосферы со сконденсированными на немъ капельками. Видимый ближе къ экватору, этотъ хвостъ земли будетъ всегда проэктироваться на фонѣ зодіакальнаго пояса, откуда и пріобрѣлось названіе „Зодіакальнаго свѣта“.

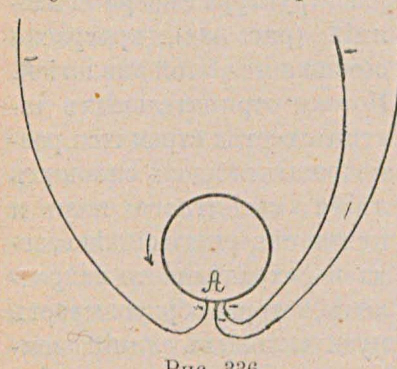


Рис. 336.

Эта теорія *Арреніуса*, поражающая своей простотой и ясностью, прекрасно объясняетъ всѣ явленія, связанныя съ полярнымъ сіяніемъ и зодіакальнымъ свѣтомъ *).

*) Цитировано по С. С. Гальперсону.

Къ § 2, гл. VII, ч. II. Электрическая сѣть, служа защитой городскимъ зданіямъ и принимая на себя удары молніи, сама нуждается въ защитѣ отъ поврежденія грозой. Такое поврежденіе можетъ произойти и безъ удара молніи отъ индуктивнаго дѣйствія атмосфернаго электричества, при тихомъ разрядѣ его между облаками и землей. Кромѣ того, при сильномъ вѣтрѣ, несущемъ пыль или снѣгъ, ударяющемъ ими въ провода, послѣдніе заряжаются отъ тренія о нихъ этихъ твердыхъ частицъ, какъ стеклянная палочка заряжается при треніи о бумагу.

Въ томъ и другомъ случаѣ напряженіе положительныхъ и отрицательныхъ проводовъ воздушной сѣти можетъ достичь такой высоты, что между ними произойдетъ искровый разрядъ. Этотъ разрядъ можетъ сжечь изолировку динамо-машинъ, питающихъ сѣть, и приборовъ, въ нее включенныхъ. Надо, слѣдовательно, не допускать такого разряда черезъ цѣпь, а дать возможность уравнять напряженія проводовъ (разрядить ихъ) черезъ землю. Надо, чтобы токъ не пошелъ въ динамо D (рис. 337) по проводнику AB, а ушелъ бы въ землю черезъ отвѣтвленіе AC. Для этого, какъ показано на рисункѣ, воздушный проводъ A соединяется съ землей толстымъ проводомъ AC. Этотъ проводъ раздѣленъ перерывомъ P въ видѣ узкаго воздушнаго слоя. Токъ нормальнаго напряженія, идущій отъ машины или въ машину, пойдетъ по линіи AB, такъ какъ сопротивленіе воздушнаго слоя P для него непреодолимо. Токъ же высокаго напряженія, образовавшійся въ сѣти и опасный для машины, пойдетъ по болѣе короткому пути AC въ землю, такъ какъ для него тонкій воздушный перерывъ не служитъ препятствіемъ. Такой токъ высокаго напряженія можетъ при этомъ произвести такъ наз. „короткое замыканіе" цѣпи. При этомъ въ воздушномъ зазорѣ P образуется вольтова дуга, которая будетъ питаться токомъ отъ машины, а сѣть проводовъ останется безъ необходимаго ей тока машины. Опять же и въ этомъ случаѣ дѣло поправимо. Надо тотчасъ установить разъединеніе въ проводникѣ AC, прервать вольтову дугу, служащую проводникомъ тока машины, и тѣмъ направить попрежнему токъ отъ машины въ цѣпь.

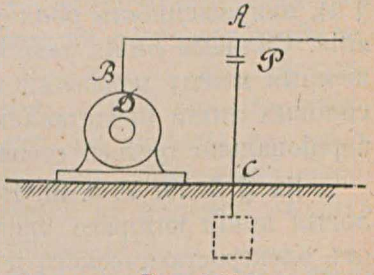


Рис. 337.

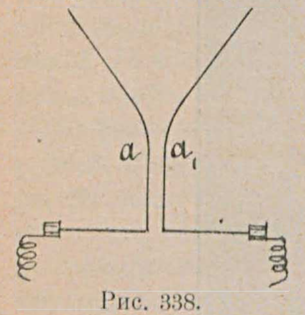


Рис. 338.

Гашеніе вольтовой дуги въ громоотводахъ, защищающихъ провода, достигается разнообразными способами. Простѣйшимъ и наиболѣе дешевымъ изъ нихъ будетъ громоотводъ системы Сименсъ и Гальске (рис. 338), или такъ наз. „роговой громоотводъ". Рога a и a_1 соединяются, одинъ съ охраняемымъ проводомъ, другой съ землей. Въ моментъ разряда или удара молніи въ цѣпь между ними проскакиваетъ искра. Искра замыкаетъ цѣпь —и между рогами появляется вольтова дуга. Такъ какъ температура вольтовой дуги достигаетъ до 3000°, то моментально воздухъ, окружающій дугу,

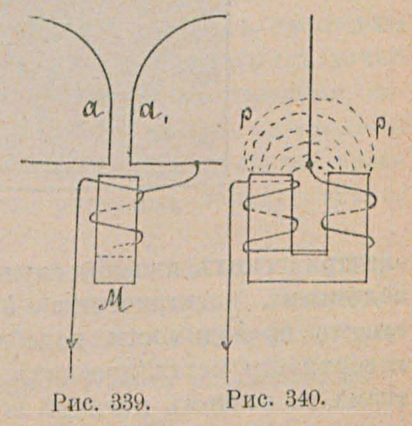


Рис. 339. Рис. 340.

нагрѣвается, поднимается вверхъ и увлекаетъ дугу за собою, „сдуваетъ" ее, какъ говорятъ, и тѣмъ размыкаетъ токъ.

Томсонъ въ своемъ громоотводѣ примѣняетъ для задуванія вольтовой дуги магнитъ. Рис. 339 показываетъ схему устройства томсоновскаго громоотвода. Какъ только въ воздушномъ зазорѣ между рогами a и a_1 установится токъ, онъ, уходя въ землю по обмоткѣ, окружающей магнитъ M, возбудитъ вокругъ него магнитное поле. Рис. 340 изображаетъ громоотводъ сбоку, пунктирныя линіи p, p_1 представляютъ силовыя линіи магнитнаго поля, расходящіяся отъ полюсовъ магнита. Онѣ отталкиваютъ вверхъ вольтову дугу, сдуваютъ ее.

Къ § 7, гл. IX, ч. II. Въ магнитномъ полѣ, какъ намъ извѣстно (ч. I, гл. IV, § 4), напряженность поля уменьшается пропорціонально второй степени разстоянія. Силовыя линіи такого поля представляютъ замкнутыя кривыя, расположенныя между полюсами магнита. Въ полѣ электростатическомъ, въ которомъ силовыя линіи представляютъ незамкнутыя линіи, напряженность убываетъ пропорціонально третьей степени удаленія.

Къ § 6, гл. V, ч. III. Вокругъ проводника тока возникаетъ силовое поле, силовыя линіи котораго представляютъ замкнутыя кривыя. Въ этомъ его отличіе отъ электростатическаго поля и сходство съ полемъ магнитнымъ. Такъ какъ для магнитизма не существуетъ поля съ незамкнутыми линіями силъ, то не существуетъ и аналогіи между магнитизмомъ и электричествомъ, какъ причиной электростатическаго заряда. Причиною различія въ характерѣ магнитныхъ и

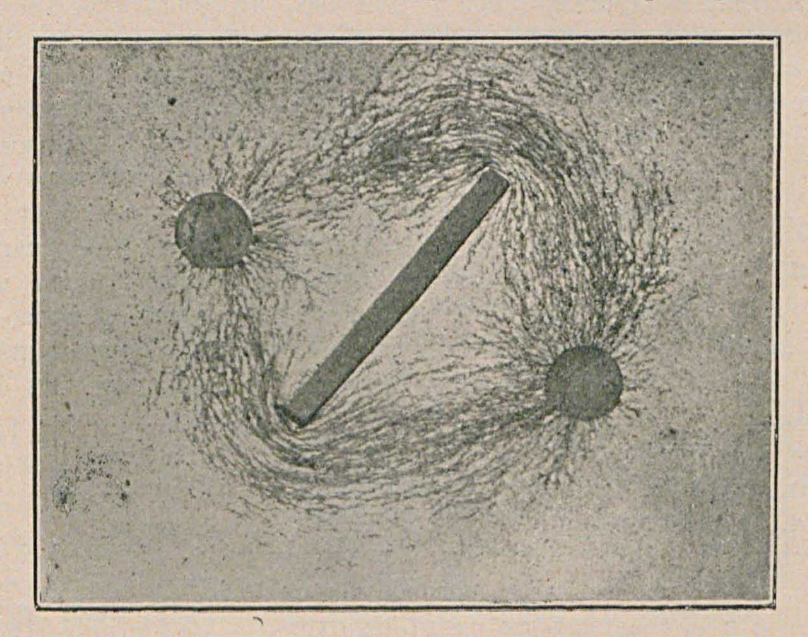


Рис. 341.

электрическихъ явленій служитъ отсутствіе въ природѣ тѣлъ аналогичныхъ проводникамъ электричества. Магнитизмъ не можетъ распространяться посредствомъ проводимости подобно тому, какъ распространяется электричество по поверхности металлическихъ проводниковъ. Сумма сѣвернаго и южнаго магнитизма во всякомъ магнитѣ всегда равна нулю, тогда какъ проводникъ можетъ

быть заряженъ только однимъ изъ разноименныхъ электричествъ. Образованіе магнитнаго поля вокругъ проводника, на которомъ электричество не находится въ равновѣсіи, т. е. по которому идетъ токъ, съ несомнѣнной ясностью указываетъ на общность причинъ магнитныхъ и электрическихъ явленій.

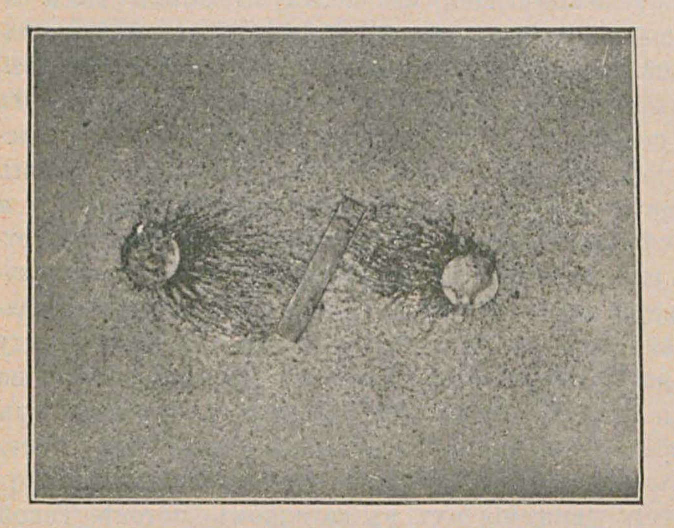


Рис. 342.

А. В. Цингеръ, въ 1901 году, далъ методъ фотографированія спектровъ линій тока. Рис. 341 и 342 представляютъ копіи такихъ фотографій. На первомъ изъ нихъ линіи тока обтекаютъ непроводникъ, на второмъ входятъ въ проводникъ.

Къ § 4, гл. VI, ч. III и **къ гл. IV** и **V, ч. IV**. До 1857 г. полагали, что электрическій токъ, проходящій черезъ электролитъ, разлагаетъ нейтральную молекулу. *Вильямсонъ*, правда, еще въ 1854 году, высказывалъ взглядъ, что молекулы въ растворахъ находятся въ состояніи диссоціаціи, но лишь *Клаузіусъ*, въ 1857 году, указалъ, что, если бы молекулы разлагались токомъ, то для каждаго отдѣльнаго химическаго соединенія нуженъ былъ бы токъ различной электродвижущей силы, въ зависимости отъ большей или меньшей степени химическаго сродства между веществами, входящими въ составъ разлагаемаго соединенія. *Гитторфъ* подтвердилъ взглядъ Клаузіуса указаніемъ на то, что соединенія наиболѣе прочныя являются наилучшими электролитами. Тѣ же взгляды были развиты и сведены въ стройную теорію въ 1888 г. *Арреніусомъ*, опытнымъ путемъ нашедшимъ, что степень диссоціаціи зависитъ отъ концентраціи раствора. Въ настоящее время господствуетъ взглядъ, что не только въ растворенномъ или расплавленномъ состояніи вещество диссоціируетъ на іоны, но также въ газообразномъ и даже твердомъ (*Гиссъ*, 1889 г.). Каждый іонъ несетъ опредѣленный электрическій зарядъ, т. н. электронъ. Такимъ образомъ іонъ является атомомъ или группой атомовъ, единицы сродства которыхъ насыщены электронами. Предполагаютъ также, что атомъ всякаго элементарнаго (съ точки зрѣнія химиковъ 19-го вѣка) тѣла состоитъ изъ первичныхъ электроновъ, которымъ присущъ электрическій зарядъ *). Параллельно съ такимъ взглядомъ работы *Абрагама* (1903 г.) и др. ученыхъ показали, что матеріальная масса электрона, съ которой связанъ электрическій зарядъ, фиктивна, являясь функціей скорости движенія электрона.

Рике (1898) далъ электронную гипотезу прохожденія тока въ проводникахъ перваго класса, развитую впослѣдствіи *Лоренцомъ* (1905), *Д. Томсономъ* (1907) и др. Согласно этой гипотезѣ токъ является слѣдствіемъ колебательнаго

*) Величина этого заряда по новѣйшимъ вычисленіямъ *Планка* равна $5{,}564 \cdot 10^{-19}$ кулона.

движенія въ проводникѣ электроновъ. По указаніямъ *Риги* (1907 г.) логическимъ выводомъ изъ гипотезы, предполагающей, что молекулы всѣхъ тѣлъ состоятъ изъ двухъ категорій іоновъ, является допущеніе, что связь между матеріей и эфиромъ поддерживается электрическими зарядами первой. Электроны, вибрируя, порождаютъ волны въ эфирѣ и, наоборотъ, воспринимая энергію отъ эфирныхъ волнъ, поглощаютъ послѣднюю. Какъ аналогіей, можно и здѣсь воспользоваться звучаніемъ камертона отъ воздушной волны опредѣленной длины, передающей механическую энергію одного камертона другому. *Рамзей* (1907) и *Н. Морозовъ* самые электроны считаютъ чисто матеріальными. По Рамзею, отсутствіе электроновъ въ атомѣ или группѣ ихъ служитъ причиной положительнаго заряда, присутствіе—отрицательнаго. Морозовъ идетъ еще дальше, создавая гипотетическіе элементы анодій и катодій. Однако такая аналогія между матеріальными атомами и „атомами" электричества или электронами далеко не полна. Атомы химическихъ элементовъ, соединяясь въ молекулы, образуютъ матерію, обладающую строго опредѣленными индивидуальными свойствами, электроны же не соединяются другъ съ другомъ и самое существованіе ихъ обусловлено опредѣленной скоростью движенія ихъ въ катодномъ потокѣ. Такой потокъ, направленный внутрь герметически закрытаго сосуда, не уплотняется въ немъ въ осязаемое вещество, а лишь измѣняетъ электрическое состояніе вещества стѣнокъ сосуда. Можно предположить, что существующіе лишь въ отдѣльности взаимно-отталкивающіеся „атомы электричества" соединяются при этомъ съ молекулами вещества стѣнокъ сосуда. Такъ какъ электронъ, остановленный въ своемъ движеніи, исчезаетъ, какъ таковой, то въ данномъ случаѣ его существованіе приходится объяснить предположеніемъ, что онъ продолжаетъ свое движеніе, измѣнивъ его прямолинейное направленіе на движеніе по замкнутой орбитѣ вокругъ молекулы. Возможно, что господствующіе въ данный моментъ взгляды на электронъ, какъ первичную форму матеріи, служащую матеріаломъ для образованія атомовъ, уступитъ мѣсто взгляду на электронъ, какъ опредѣленную деформацію эфира. Уничтоженію электрона, какъ таковаго, отвѣчаетъ возникновеніе волны въ діэлектрикѣ. Если стать на эту точку зрѣнія, то гальваническій токъ, идущій по проводнику и, какъ извѣстно, вызывающій вокругъ проводника въ эфирѣ возникновеніе электромагнитнаго поля, можно объяснить, какъ потокъ электроновъ, несущихся съ опредѣленной скоростью (меньшей скорости распространенія волнъ внѣ проводника). Очень грубо можно моделировать такой потокъ на рядѣ упругихъ шариковъ, подвѣшенныхъ такъ, что центры ихъ лежатъ на одной горизонтальной прямой. При ударѣ перваго шарика о второй, второго о третій и т. д. движеніе шаровъ передастся вдоль ихъ ряда (аналогія потоку электроновъ въ проводникѣ), а звукъ отъ ударовъ шаровъ другъ о друга распространится волнами въ средѣ, окружающей шары (аналогія возникновенію волнъ въ эфирѣ).

Въ элементарномъ курсѣ неумѣстно входить въ дальнѣйшія подробности, тѣмъ болѣе, что ни одна изъ гипотезъ, стремящихся отвѣтить на вопросъ: „что такое электричество, какъ причина электрическихъ явленій", не является общепризнанной. Попытки отвѣтить на этотъ вопросъ приводятъ, какъ указано въ нашемъ „введеніи", въ концѣ концовъ, къ кардинальному вопросу естествознанія: „что такое вещество и энергія". Мы знаемъ ихъ лишь по ихъ проявлені-

ямъ и для насъ будетъ достаточно удовольствоваться взглядомъ на электричество, какъ на одинъ изъ видовъ энергіи. Такое разсмотрѣніе вопроса является тѣмъ болѣе правильнымъ, что оно совершенно не зависитъ отъ тѣхъ или иныхъ гипотезъ, а является результатомъ опытнаго наблюденія надъ различными явленіями, связанными съ электрическимъ состояніемъ тѣлъ.

Краткія біографическія свѣдѣнія о нѣкоторыхъ ученыхъ и изобрѣтателяхъ, упомянутыхъ въ книгѣ.

Андреа *Амперъ*, французъ, родился въ 1775 г. въ Ліонѣ, умеръ въ 1836 г. въ Марселѣ. Профессоръ физики и математики. Главные труды въ области электродинамической теоріи электричества и магнитизма. Въ его честь названа *амперомъ* единица силы тока.

Доминикъ Франсуа *Араго*, французъ, родился въ 1786 г. Выдающійся математикъ, астрономъ и физикъ. Прекрасный популяризаторъ, плодовитый и талантливый писатель. Жизнь его была полна приключеній вплоть до плѣна у пиратовъ. Умеръ въ 1879 г.

Александръ *Вольта*, итальянецъ, родился въ 1745 г. въ Комо и тамъ же умеръ въ 1827 г. Сначала былъ учителемъ физики въ родномъ городѣ, а затѣмъ профессоромъ въ Павіи. За научныя заслуги удостоенъ графскаго титула и званія сенатора. Творецъ современнаго ученія о гальванизмѣ, которое справедливѣе было бы назвать его именемъ, а не именемъ случайно открывшаго эту область явленій Гальвани и давшаго неправильное объясненіе ихъ причины.

Вильгельмъ *Веберъ* (1804—1891), нѣмецъ, Геттингенскій профессоръ физики; совмѣстно съ своимъ компатріотомъ и коллегой по университету, знаменитымъ математикомъ Карломъ *Гауссомъ* (1777 - 1855), устроилъ одинъ изъ первыхъ телеграфныхъ аппаратовъ, послужившихъ прототипомъ примѣняемыхъ нынѣ въ практикѣ. Главныя научныя заслуги: установленіе абсолютной системы единицъ и работы въ области земного магнитизма и электромагнитизма. Въ честь послѣдняго названа *гауссомъ* единица напряженія магнитнаго поля. *Веберомъ* названа рѣдко примѣняемая въ практикѣ единица магнитизма.

Луиджи *Гальвани*, итальянецъ, род. въ 1737 г., умеръ въ 1798 г., физіологъ, случайно открывшій явленія динамическаго электричества и тѣмъ давшій толчекъ къ изученію обширнѣйшей области явленій, названныхъ въ его честь гальваническими.

Отто *фонъ-Герике*, нѣмецъ, родился въ 1602 г. въ Магдебургѣ, умеръ въ Гамбургѣ въ 1686 г. Личность его интересна, какъ выдающагося изслѣдователя, не бывшаго оффиціально ученымъ. По образованію юристъ, по профессіи крупный общественный дѣятель, съ 1646 г. бургомистръ родного города. Изъ устроенныхъ имъ приборовъ особенно извѣстны т. н. „магдебургскія полушарія“ и первая электростатическая машина. Домъ его былъ снабженъ разнообразными физическими приборами, привлекавшими массу любопытныхъ и тѣмъ способствовавшими популяризаціи физическихъ знаній. Жизнь его до 1646 г. полна приключеній, среди которыхъ онъ не оставлялъ плодотворной научной дѣятельности.

Генрихъ *Герцъ*, нѣмецъ, (1857—1894 г.), инженеръ и физикъ, ассистентъ знаменитаго Гельмгольца, съ 1885 г. проф. въ Килѣ, гдѣ онъ произвелъ свои опыты, подтвердившіе взгляды Максуэля и Фарадея (1887—8 г.). Въ 1889 г. получилъ кафедру въ Боннѣ. Помимо указанныхъ опытовъ, составившихъ начало новой эры въ области изученія электричества, работалъ надъ изслѣдованіемъ

явленій, происходящихъ въ трубкахъ Гейслера. Въ практическомъ отношеніи результаты герцевскихъ опытовъ положили начало новой отрасли электротехники,—передачѣ энергіи на разстояніе не по проводамъ.

Зиновій *Граммъ*, бельгіецъ, родился въ Люттихѣ, въ 1826 г., работалъ въ Парижѣ, будучи столяромъ-модельщикомъ. Не имѣя никакого образованія, за исключеніемъ элементарнаго, весьма интересовался успѣхами электричества и въ 1869 г. получилъ патентъ на т. н. „Кольцо Грамма". Изобрѣтеніе это послужило толчкомъ для широкаго примѣненія въ практикѣ динамомашинъ, бывшихъ до тѣхъ поръ не экономичными.

За построенную въ 1872 г. машину Граммъ удостоился многихъ наградъ и почестей, получилъ премію имени Вольты (50.000 фр.) и въ 1889 г. офицерскій крестъ ордена Почетнаго Легіона.

Вильгельмъ *Жильбертъ*, англичанинъ, врачъ королевы Елисаветы, родился въ Кольчестерѣ, въ 1540 г., умеръ въ 1603 г. въ Лондонѣ. Первый ввелъ терминъ „электричество", какъ отличіе причины, производящей притяженіе тѣлами, подвергнутыми тренію.

Джемсъ Прескотъ *Джауль*, англичанинъ, одинъ изъ величайшихъ физиковъ, опытнымъ путемъ подтвердилъ эквивалентность тепла и работы. Родился въ Сальфордѣ, въ 1818 г. изучалъ химію у Дальтона, позже занимался изученіемъ электричества. Авторъ многихъ ученыхъ трудовъ. Умеръ въ 1889 г.

Лордъ Вильямъ *Кельвинъ (Томсонъ)*, англичанинъ, сынъ бѣднаго ирландскаго фермера, родился въ 1824 г., умеръ въ концѣ 1907 г. По широтѣ воз-



Вильямъ Томсонъ.

зрѣній и обилію весьма важныхъ работъ въ различныхъ областяхъ физики можетъ быть признанъ величайшимъ физикомъ своего времени. Двадцати съ небольшимъ лѣтъ занялъ кафедру въ университетѣ въ Глазго, не оставляя ее до послѣдняго времени. За свои научныя заслуги былъ удостоенъ титула лорда въ 1892 г. Геніальный создатель механической теоріи тепла. На ряду съ разработкой труднѣйшихъ абстрактныхъ вопросовъ теоретической физики былъ выдающимся практикомъ. Ему обязана Европа соединеніемъ съ Америкой трансатлантическимъ кабелемъ. Съ неослабѣвающей энергіей и ясностью взглядовъ не омраченныхъ преклоннымъ возрастомъ, до самой кончины плодотворно работалъ въ области развитія новой электронной гипотезы электричества. Далъ настолько обоснованное представленіе о міровомъ эфирѣ, что въ одной изъ популярныхъ своихъ лекцій имѣлъ право сказать: „вещь, въ которой мы увѣрены, это—реальность и матеріальность свѣтоноснаго эфира".

Пьеръ *Кюри*, французъ, (1850—1906 гг.), скромный учитель физики городского училища, прославившійся совмѣстными съ своей женой работами надъ радіоактивными веществами и открытіемъ ряда активныхъ элементовъ. За два года до своей трагической кончины (раздавленъ повозкой) получилъ спеціально для него созданную кафедру въ Сорбоннѣ. Отличался чертами истиннаго ученаго, полнымъ отсутствіемъ честолюбія и интереса къ матеріальнымъ выгодамъ. Въ 1900 г. онъ отвергъ предложеніе продать за 200 тысячъ рублей хотя бы ничтожную часть бромистаго радія, бывшаго ему нужнымъ для дальнѣйшихъ работъ; шумная же извѣстность, быстро созданная ему его открытіями, была въ его глазахъ лишь досаднымъ обстоятельствомъ, мѣшавшимъ ему работать.

Шарль *Кулонъ*, французъ, родился въ Ангулемѣ, умеръ въ Парижѣ (1736—1806 гг.). Военный инженеръ, выдающійся математикъ. Въ области ученія объ электричествѣ главной заслугой его является установленіе закона взаимодѣйствія электрическихъ массъ. Въ его честь названа *кулономъ* практическая единица количества электричества.

Петръ Николаевичъ *Лебедевъ*, родился въ Москвѣ въ 1866 г., умеръ тамъ же въ 1912 г. Выдающійся экспериментаторъ, авторъ классическаго труда о свѣтовомъ давленіи. Окончилъ курсъ въ Страссбургѣ, такъ какъ, не имѣя классическаго образованія, не могъ поступить въ университетъ въ Россіи. Признаніе его научныхъ заслугъ европейскими учеными открыло ему каѳедру московскаго университета, который онъ по причинамъ, ничего общаго съ наукой не имѣвшимъ, вынужденъ былъ оставить незадолго до своей смерти.

Эмиль Фридрихъ *Ленцъ*, нѣмецъ, жившій въ Россіи, род. въ 1804 г., умеръ въ 1865 г. По образованію теологъ, а затѣмъ физикъ. Съ 1834 года занималъ кафедру физики въ С.-Петербургскомъ университетѣ. Одинъ изъ главныхъ основателей ученія объ электромагнитизмѣ. Въ своихъ сочиненіяхъ, которыя писалъ на нѣмецкомъ языкѣ, отличался ясностью слога и точностью опредѣленій. Вопреки державшемуся у современныхъ ему ученыхъ взгляда на индуктивные токи, какъ на нѣчто отличное по своимъ свойствамъ отъ токовъ гальваническихъ, указалъ на ихъ общность. Много работалъ надъ теоретическимъ изслѣдованіемъ дѣйствій динамомашинъ.

Михаилъ Васильевичъ *Ломоносовъ*, род. въ 1712 г., въ деревнѣ Денисовкѣ Холмогорскаго уѣзда, умеръ въ С.-Петербургѣ, въ 1765 г. Біографія этого геніальнаго русскаго самородка общеизвѣстна. Къ сожалѣнію, указывая на его заслуги передъ отечественной словесностью, не рѣдко упускаютъ указать на не менѣе важныя заслуги въ области естествознанія. Совмѣщеніе въ одномъ лицѣ филолога, математика и естественника представляетъ рѣдкое явленіе и среди европейскихъ ученыхъ. Въ бытность свою профессоромъ химіи и физики С.-Петербургской академіи, въ ноябрѣ 1753 г. произнесъ рѣчь: „о явленіяхъ воздушныхъ, отъ электрической силы происходящихъ“. Въ ней онъ указываетъ, что теплота есть результатъ молекулярнаго движенія, а свѣтъ и электричество вихревое движеніе эфира. Такимъ образомъ геній Ломоносова за 150 лѣтъ до нашего времени предвосхитилъ современныя намъ воззрѣнія на сущность электрическихъ явленій.

Джемсъ Клэркъ *Максуэль*, англичанинъ (1831—1879), съ 1856 г. профессоръ физики въ Абердинѣ, съ 60 въ Лондонѣ и съ 65 въ Кембриджѣ. Геніальный толкователь идей Фарадея, создавшій математическое обоснованіе теоріи электро-оптическихъ явленій въ эфирѣ. По словамъ нашего современнаго выдающагося физика О. Д. Хвольсона Максуэль детально нарисовалъ картину, эскизно набросанную Фарадеемъ.

Петръ ванъ-*Мушенбрекъ*, голландецъ, родился въ Лейденѣ, д-ръ философіи и медицины, послѣдователь Ньютона. Преподавалъ философію и астрономію въ Утрехтѣ, а затѣмъ у себя на родинѣ, гдѣ и умеръ въ 1761 году.

Георгъ Сименсъ *Омъ*, род. въ 1787 г. въ Эрлангерѣ, умеръ въ 1854 г. въ Мюнхенѣ. Сынъ слесаря и самъ готовился стать слесаремъ, но выдающіяся математическія способности дали возможность окончить гимназію. Университета, однако, по бѣдности окончить не могъ и принужденъ былъ жить уроками математики. Юношескія занятія слесарнымъ ремесломъ принесли пользу при самостоятельномъ изготовленіи приборовъ, служившихъ для подтвержденія открытыхъ Омомъ законовъ гальваническаго тока. Обнародованіе ихъ составило имя ученому, который получилъ мѣсто директора политехникума (въ 1834 г.), а затѣмъ кафедру физики въ Мюнхенѣ (съ 1841 г.). Главныя работы въ области математической физики, преимущественно по электричеству и оптикѣ.

Василій Владиміровичъ *Петровъ* (1761—1834 гг.), профессоръ медико-хирургической академіи въ С.-Петербургѣ. Во многомъ предупредилъ позднѣйшія работы Деви надъ вольтовой дугой. Свѣдѣнія объ его работахъ, оставшихся неизвѣстными западно-европейскимъ ученымъ, были напечатаны въ книгѣ: „Извѣстія о гальвано-вольтовскихъ опытахъ, которые производилъ профессоръ физики Василій Петровъ, посредствомъ огромной наипаче батареи, состоявшей иногда изъ 4200 мѣдныхъ и цинковыхъ кружковъ и находящейся при С.-Петербургской медико-хирургической академіи“.

Александръ Степановичъ *Поповъ*, род. въ 1865 г., университетъ окончилъ въ 1882 г., умеръ въ послѣдній день 1905 года. Былъ профессоромъ физики въ Кронштадтскомъ инженерномъ училищѣ и въ электро-техническомъ институтѣ, въ которомъ незадолго до смерти былъ избранъ директоромъ. Былъ одновременно выдающимся теоретикомъ и электротехникомъ практикомъ. За годъ до

итальянскаго инженера Маркони, имя котораго обычно связывается съ открытіемъ безпроволочной телеграфіи, Поповъ демонстрировалъ свой аппаратъ для той же цѣли. Въ 1897 г. достигъ передачи депешъ на 5, а въ 1900 г. на 40 верстъ.

Генрихъ *Румкорфъ* (1803—1877 гг.), нѣмецъ, жившій и работавшій въ Парижѣ, гдѣ у него была своя мастерская физическихъ приборовъ. Одинъ изъ тѣхъ интеллигентныхъ работниковъ, которые уже не разъ оказывали крупныя услуги научному прогрессу. Въ 1864 г получилъ отъ Парижской академіи наукъ премію имени Вольты въ 50000 фр. за индуктивный аппаратъ, т. н. „катушку Румкорфа“.

Михаилъ *Фарадей*, англичанинъ, родился въ 1791 г. близъ Лондона, умеръ въ 1867 г. въ Гамптоунѣ. Геніальнѣйшій электрикъ, творецъ современныхъ воззрѣній на электричество, какъ видъ энергіи. Плодотворный экспериментаторъ. Открылъ и изучилъ законы индуктивнаго электричества. Будучи сыномъ бѣднаго кузнеца, не получивъ школьнаго образованія, упорнымъ трудомъ достигъ профессуры Королевскаго института. Двѣнадцати лѣтъ отъ роду Фарадей поступилъ ученикомъ въ переплетную мастерскую. Имѣя возможность много читать особенно заинтересовался книгами по химіи, продѣлывая описываемые въ нихъ опыты на самодѣльныхъ приборахъ. Хозяинъ его, французъ Рибо, поощрялъ любознательность своего ученика. Въ 1812 г. Фарадею удалось прослушать лекціи знаменитаго химика Гэмфри Деви, а затѣмъ попасть къ нему лаборантомъ. Съ Деви онъ совершаетъ принесшую ему большую пользу поѣздку по Европѣ. Въ 1824 г. дѣлается членомъ Королевскаго Общества, а въ 1825 г. занимаетъ мѣсто самого Деви. Будучи выдающимся химикомъ, начинаетъ работать надъ изученіемъ электричества и въ этой области дѣлаетъ рядъ выдающихся открытій. Съ 1831 г. его имя становится извѣстнымъ во всѣхъ ученыхъ обществахъ; онъ получаетъ степень доктора физики Оксфордскаго университета и рядъ другихъ почетныхъ отличій. Съ 1860 г. переутомленный мозгъ генія отказывается работать и онъ прекращаетъ свою научную дѣятельность. По отзывамъ современниковъ Фарадей былъ превосходнымъ лекторомъ и педагогомъ. Свѣтлая память геніальнаго ученаго и прекраснаго по своимъ личнымъ качествамъ человѣка праздновалась въ 1891 г. учеными всего міра. Въ честь его названа *фарадомъ* единица электроемкости.

Веньяминъ *Франклинъ*, родился въ 1706 году въ Бостонѣ (Америка), умеръ въ 1790 г. Былъ однимъ изъ многочисленныхъ сыновей бѣднаго свѣчного мастера. Началъ свою жизненную карьеру типографскимъ ученикомъ, не получивъ предварительно никакого образованія. Въ 1728 г. имѣлъ уже свою типографію и издавалъ газету. Съ 1736 г. началъ свою общественную дѣятельность, давшую ему славу величайшаго американскаго борца за свободу. Какъ физикъ является однимъ изъ плодотворнѣйшихъ экспериментаторовъ. Занялся физикой съ 1746 г., преимущественно работая надъ изслѣдованіемъ атмосфернаго электричества, а также изучая метеорологическія, оптическія и тепловыя явленія. „Мы живемъ во времена производства опытовъ“, говорилъ онъ: „и только рядъ ихъ можетъ принести пользу“. Однако это не мѣшало ему быть вдумчивымъ и проницательнымъ мыслителемъ, стремящимся дѣлать выводы изъ результатовъ эмпирическихъ наблюденій.

Гансъ Христіанъ *Эрстедтъ*, датчанинъ (1777—1851 гг.), по полученному образованію химикъ, съ 1806 г. профессоръ физики въ Копенгагенскомъ университетѣ. Знаменитъ своимъ открытіемъ электромагнитизма, которое онъ сдѣлалъ на одной изъ своихъ лекцій въ 1820—21 г., замѣтивъ, что при прохожденіи тока по проводнику, стрѣлка компаса, находившагося вблизи, вздрагивала. Покровитель и другъ знаменитаго датскаго поэта Андерсена, оставившаго о немъ теплыя воспоминанія въ своихъ сочиненіяхъ.

Павелъ Николаевичъ *Яблочковъ* (1847—1894 гг.), уроженецъ г. Сердобска, саперный офицеръ. Выдающійся электротехникъ, составившій европейскую извѣстность своею „свѣчей", и иниціаторъ многихъ усовершенствованій въ различныхъ областяхъ электротехники, выполненныхъ другими.

Морицъ Германъ *Якоби*, по происхожденію нѣмецъ, но работавшій въ Россіи (1801—1874 гг.). По образованію архитекторъ и физикъ. Съ 1835 г. профессоръ строительнаго искусства въ Дерптѣ (Юрьевѣ), съ 1847 г. академикъ въ С.-Петербургѣ. Главнѣйшей заслугой Якоби въ области практическаго примѣненія электричества является сдѣланное имъ въ 1836 г. открытіе гальваностегіи и гальванопластики, детально разработанное имъ же. Въ 1840 г. за это открытіе онъ награжденъ золотой медалью Французской академіи наукъ и Демидовской преміей въ С.-Петербургѣ. Право пользованія открытіемъ было куплено за 25 тыс. рублей „для всеобщаго обнародованія на пользу всей имперіи, а если угодно, то и для пользы всего свѣта". Кромѣ того Якоби долженъ считаться піонеромъ по примѣненію электродвигателей для промышленныхъ цѣлей и однимъ изъ первыхъ конструкторовъ телеграфнаго аппарата и многихъ другихъ приборовъ.

Задачи и численные примѣры.

Магнитизмъ.

1. Опредѣлить силу притяженія двухъ разноименныхъ магнитныхъ полюсовъ въ 8 и 11 магнитныхъ единицъ, отстоящихъ на 12 см. другъ отъ друга *).

Рѣш. $k=\frac{m.\ m_1}{r^2}=\frac{8.\ 11}{144}=0{,}61$ дн.

2. Грузъ въ 0,004 гр. уравновѣшиваетъ на магнитныхъ вѣсахъ отталкиваніе полюса въ 25 магн. ед., помѣщеннаго на разстояніи 5 см. отъ полюса вѣсовъ. Опредѣлить силу послѣдняго.

Отв. 4 магн. ед.

3. Магнитъ, полюсы котораго равны 3,57 магн. ед, имѣетъ длину $l=18$ см. и вѣсъ 16 гр. Найти разстояніе полюсовъ отъ концовъ магнита, величину магнитнаго момента и уд. магнитизмъ.

Рѣш. $l_1={}^5/_6\ l={}^5/_6.\ 18=15$ см

$M=m.\ l_1=53{,}55;$

$d=\frac{M}{P}=\frac{53{,}55}{16}=3{,}347.$

4. Магнитный моментъ прямого магнита равенъ 24, длина магнита 7,2 см. Найти число магн. ед. полюса.

Отв. 4 магн. ед.

5 Какое количество веберовъ присуще магнитному полюсу, отталкивающему полюсъ въ 12 магн. ед., находящійся на разстояніи 12 см., съ силою 1 гр.?

Отв. 12 веберовъ (12000 магн. ед.).

6. Магнитный моментъ компасной стрѣлки –100, разстояніе между полюсами 2 см. Съ какой силой притягиваетъ стрѣлку сѣв. магн. полюсъ земного шара?

Рѣш. $H={}^1/_5$ магн. ед.; $k=\frac{50.0{,}2}{1}=10$ дн.

7. Найти напряженіе магнитнаго поля на разстояніи 3 см. отъ полюса въ 144 магн. ед.

Рѣш. $H=\frac{144.1}{3^2}=16$ гауссовъ.

8. Полюсъ въ 4 магн. ед. отталкиваетъ одноименный полюсъ, находящійся на разстояніи 2 см., съ силою 144 динъ. Найти напряженность поля и силу второго полюса.

Рѣш. $k=\frac{m.\ m_1}{r^2};\ \ m_1=\frac{k.\ r^2}{m}=\frac{144.\ 4}{4}=144$ м. ед.

$H=\frac{P}{m}=\frac{144}{4}=36.$

---

*) Принимая 1 гр. равнымъ 1000 динъ.

9. Выразить напряж. магн. поля числомъ силовыхъ линій: Поле образовано полюсомъ въ 160 магн. ед., разстояніе до элемента поверхности, нормальной къ направленію силовыхъ линій, 4 см.

Рѣш. $H=\frac{m.1.}{r^2}=\frac{160}{16}=10.$

10. Выразить силовой потокъ въ предыдущемъ примѣрѣ, проходящій черезъ поверхность въ 5 кв. см.

Рѣш. N=Q. H=5.10=50.

11. На прямой расположено три магнитныхъ полюса въ 24, 9 и 1 магн. ед. Если разстояніе между первыми двумя полюсами 10 см., на какомъ разстояніи отъ полюса въ 9 магн. ед. находится полюсъ въ 1 магн. единицу, при условіи, что притяженіе его этимъ полюсомъ и отталкиваніе полюсомъ въ 24 магн. ед. уравновѣшиваются?

Рѣш. Положимъ, что это разстояніе x см., тогда разстояніе отъ большаго полюса будетъ x+10 см. Сила притяженія $f=\frac{9.1}{x^2}$, сила отталкиванія $f=\frac{24.1}{(x+10)^2}$; слѣдовательно $\frac{9}{x^2}=\frac{24}{(x+10)^2}$; откуда x=15,8 см.

12. Какое положеніе займетъ астатическая стрѣлка (ч. III, гл. III, § 4), если оба магнита, ее составляющіе, совершенно тождественны?

13. Даны двѣ одинаковыхъ стальныхъ полосы. Извѣстно, что одна изъ нихъ намагничена. Какъ опредѣлить, которая?

14. Какое положеніе займетъ магнитная стрѣлка, помѣщенная въ центрѣ земного шара?

15. Можно ли при помощи свободно движущейся магнитной стрѣлки, поднимающейся по продолженію радіуса земного шара данной точки земной поверхности, опредѣлить высоту ея поднятія?

Статическое электричество.

16. Зарядъ кондуктора 7 LE, потенціалъ 10.000 вольтъ. Чему будетъ равенъ потенціалъ, если перенести на кондукторъ еще—11 LE.

Рѣш.—11 LE+7 LE=4 LE; x : 10.000=4 : 7; x=—5714,3 вольта.

17. Опредѣлить количество электричества, находящееся на шаровомъ кондукторѣ, емкость котораго $\frac{1}{60}$LE, а потенціалъ заряда 30.000 вольтъ.

Отв. 500 LE.

18. На дымовой трубѣ, высота которой 150 м., поставленъ громоотводъ высотою 10 м. На какомъ разстояніи отъ трубы человѣкъ, имѣющій ростъ въ 1,6 м., можетъ считать себя въ безопасности отъ удара молніи?

Отв. 158,4 м

19. Черезъ 5 сек. послѣ того, какъ блеснула молнія, услышанъ ударъ грома. На какомъ разстояніи отъ наблюдателя разразился громовой ударъ?

Отв. 1,5 км.

20. Зарядъ кондуктора 4000 LE, напряженіе 80000 вольтъ. Чему равна электроемкость кондуктора?

Рѣш. $x=\frac{4000}{80000}\cdot\frac{1}{3.10^9}=\frac{1}{60000}$микрофарада.

21. Два шаровыхъ кондуктора, радіусы которыхъ 4 и 7 см., а потенціалы зарядовъ=12000 и—15000 вольтъ, приведены въ соприкосновеніе. Чему будетъ равенъ ихъ общій потенціалъ?

Рѣш. $(\frac{4}{300} \cdot 12000 + \frac{7}{300} \cdot -15000)$ LE= $[\frac{4}{300}x + \frac{7}{300}x]$ LE;x=—5181,8 вольтъ.

22. Шаровые кондукторы, заряды которыхъ имѣютъ 800 и 1200 вольтъ, а радіусы 2 и 3 см., доведены до соприкосновенія. Найти общій потенціалъ.

Отв. 1040 вольтъ.

23. Во сколько разъ увеличится емкость кондуктора, служащаго коллекторомъ конденсатору, если коэф. связыванія послѣдняго 0,8?

Рѣш. $\delta = \frac{1}{1-m^2} = \frac{1}{0,36} = 2,77.$

24. Опредѣлить электроемкость луны.

Рѣш. R луны=3480 километровъ. Электроемкость шара, радіуса 1 см, $\frac{1}{300}$LE, а $3480 \cdot 10^5$ см. равна $\frac{3480 \cdot 10^5}{300}$LE, т. е. $\frac{3480 \cdot 10^5}{300 \cdot 3 \cdot 10^9}$ кул.$=\frac{348 \cdot 10^6}{9 \cdot 10^{11}} = \frac{348}{9 \cdot 10^5}$ фарада $=\frac{348 \cdot 10^6}{9 \cdot 10^5}$ микрофарада=около 387 микрофар.

25. Опредѣлить электроемкость земного шара.

Отв. Около 707 микрофар.

26. Найти радіусъ шара, емкость котораго 1 фарадъ.

Отв. $9 \cdot 10^6$ клм. (приблиз. въ 1500 разъ болѣе земного шара).

27. Коэффиціентъ связыванія внутренней обкладки лейденской банки 0,9, зарядъ 1800 эл. ст. единицъ. Опредѣлить количества эл-ва, нейтрализующагося при послѣдовательномъ разрядѣ банки.

Рѣш. 0,9 . 1800LE=1620LE;
0,9 . 1620LE=1458LE;
1800LE—1458LE=342LE;
1) 342LE; 2)—308LE; 3) 277LE; 4)—249LE; 5) 224LE и т. д.

28. Выразить въ вольтахъ напряженіе 194LE на шаровомъ кондукторѣ, радіусъ котораго—8 см.

Рѣш. $\frac{8}{300} \cdot x = 194$; $x = 727,5$ вольта.

29. Зарядъ шарового кондуктора 616LE, радіусъ 7 см. Найти плотность.

Рѣш. $d = \frac{E}{S} = \frac{616}{616} = 1$LE.

30. Поверхность эллипсоидальнаго кондуктора 80 кв. см., зарядъ 240 LE. Найти среднюю плотность.

Отв. 3 LE.

31. Электроемкость лейденской банки 0,02 микрофарада. Опредѣлить количество электричества, конденсируемаго банкой, внутренняя обкладка которой соединена съ кондукторомъ машины, имѣющимъ 20000 вольтъ напряженія.

Рѣш. 1 фарадъ . .	1 вольту	при	1 кулонѣ.
1 „ . .	1 „	„	$3 \cdot 10^9$LE.
1 микрофарадъ	1 „	„	$3 \cdot 10^3$LE.
0,02 „	1 „	„	60LE.
0,02 „	20.000	„	12.10^5LE.

32. Въ предыдущемъ примѣрѣ найти емкость банки, когда количество электричества, конденсируемаго внутренней обкладкой 10^5LE, а разность потенціаловъ кондукторовъ машины 40.000 вольтъ.

Отв. 0,001666... микрофарада.

33. Съ положительнаго кондуктора машины ежесекундно стекаетъ 300 LE. Какое количество амперъ развиваетъ машина?

Рѣш. $300LE=\frac{1}{10^7}$ кулона.

1 кулонъ въ $1''-1$ амперъ.

$\frac{1}{10^7}$ „ „ $\frac{1}{10^7}$ ампера.

34. Машина развиваетъ $\frac{1}{10^6}$ амп. Какое количество LE передаетъ она кондуктору, ею заряжаемому, въ минуту?

Отв. $18 \cdot 10^4$LE.

35. Какую механическую работу надо затратить на повышеніе потенціала шарового кондуктора съ 800 вольтъ на 6800 вольтъ, если радіусъ шара равенъ 20 см.?

Рѣш. 6800 в.—800 в.=6000 в.

$6000 \cdot \frac{1}{300}$ LE=20LE;

$T=n. v. \frac{1}{300}$ эрговъ $=\frac{20 \cdot 6000}{300}=400$ эрг.

36. Вычислить работу, совершаемую электрической искрой, переносящей 12 LE съ полож. кондуктора машины на отрицательный. Разность потенціаловъ машины 80.000 вольтъ.

Отв. 3200 эрг.

37. Опредѣлить взаимное притяженіе двухъ кулоновъ эл-ва, отстоящихъ въ разстояніи 1 килом. одинъ отъ другого?

Рѣш. $f=\frac{m \cdot m}{r^2}=\frac{(3 \cdot 10^9)^2}{(10^5)^2}=\frac{3^2 \cdot 10^{18}}{10^{10}}=9 \cdot 10^8$ динъ=около 900 кгр.

38 Бузинные шарики электрическаго маятника, радіусы которыхъ равны 2,5 мм., отталкиваются съ силою 5 динъ, будучи помѣщены на разстояніи 5 см. Опредѣлить величину и напряженіе заряда.

Рѣш. $f=\frac{m^2}{r^2}; m=r\sqrt{f}=5\sqrt{5}=$ прибл. 11 LE

$\frac{0,25}{300}x=11$ LE; $x=13200$ вольтъ.

39. Опредѣлить силу притяженія шаровъ, радіусы которыхъ равны 1 см., а разстояніе между ними 6 см. Потенціалъ одного—9000, а другого+42000 вольтъ.

Отв. Около 116,6 дины.

40. Какимъ грузомъ можно уравновѣсить притяженіе двухъ невѣсомыхъ наэлектризованныхъ шариковъ, радіусы которыхъ 2 см., а потенціалы зарядовъ 15000 и —15000 вольтъ? Разстояніе между центрами шариковъ 5 см.

Отв. Около 0,4 гр.

41. Шарики маятника имѣютъ радіусы 0,2 см. и отталкиваются на разстояніи 4 см. силою, которую можно уравновѣсить 0,1 гр. Найти величину и напряженіе ихъ заряда.

Отв. m=40LE; v=60 000 вольтъ.

42. Даны: ненаэлектризованный бузинный шарикъ, кусокъ стекла, листъ бумаги и кристаллъ кварца. Какъ опредѣлить, какимъ электричествомъ, положительнымъ или отрицательнымъ, зарядится кварцъ при треніи о бумагу.

43. Почему потенціалъ заряда внутри полаго шара равенъ потенціалу внѣшней поверхности, хотя плотность электричества внутри шара равна нулю?

44. Отчего уничтоженіе въ какой либо мѣстности лѣсовъ вызываетъ возрастаніе числа случаевъ пораженія людей молніей.

45. Зачѣмъ стеклянный сосудъ лейденской банки, раньше чѣмъ обклеить ее внутренней и внѣшней обкладкой, покрываютъ лакомъ?

46. Какъ, не имѣя подъ руками электроскопа, опредѣлить, заряженъ ли кондукторъ, не касаясь его рукою, и при томъ, какимъ эл—вомъ?

47. Почему бузинный шарикъ, будучи изолированъ, слабѣе притягивается заряженнымъ стекломъ, чѣмъ неизолированный?

Динамическое электричество.

48. Найти паденіе потенціала въ однородномъ проводникѣ, длина котораго 2 килом., а разность потенціаловъ на концахъ 20 вольтъ.

Отв. 0,01 вольта.

49. Опредѣлить работу тока въ 2 амп. въ проводникѣ длиною въ 1 клм., разность потенціаловъ концовъ котораго 40 вольтъ.

Отв. Около 8 килограммометровъ.

50. Разность потенціаловъ на концахъ однороднаго проводника, замыкающаго гальваническую батарею, 20 вольтъ, длина проводника 50 м. При силѣ тока въ 10 амп. какое количество тепла выдѣляетъ каждый метръ проводника въ 1 минуту?

Рѣш. Паденіе потенціала $\frac{20}{50}$=0,4 вольта. Работа тока 0,4 в.$\times$10 амп.= =4 уатта, эквивалентныхъ 0,4 кгм., въ свою очередь, эквивалентныхъ приблизительно 0,001 больш. калоріи въ секунду, т. е. 60 мал. кал. въ минуту.

51. Если въ предыдущемъ примѣрѣ длина проводника 100 м., какое количество воды доведетъ въ теченіе минуты до температуры 10° опущенный въ калориметръ проводникъ? Начальная температура воды 0°, теплоемкостью сосуда и проводника пренебречь.

Рѣш. Работа тока 200 уаттъ, что эквивалентно 0,5 мал. кал. въ 1″. Проводникъ, въ теченіе минуты передаетъ водѣ 2,88 больш. калорій. Такое количество тепла способно нагрѣть на 10° C—288 гр. воды.

52. Гальваническій элементъ въ теченіе 24 часовъ работы, при средней разности потенціаловъ 1,5 вольта, ежесекундно развиваетъ 0,25 ампера, расходуя на 50 коп. матеріала. Чернорабочій за ту же суточную плату носитъ кирпичи на постройку высотою въ 5 метровъ. Чья единица работы (1 кгм.) дешевле, если общій вѣсъ перенесенныхъ за рабочій день кирпичей 2 тонны?

Рѣш. Суточная работа элемента обходится въ 50 коп., работа въ 1″— $-\frac{50}{60^2}=\frac{1}{72}$ коп. Въ 1″ элементъ развиваетъ 1,5 в.$\times$0,25 амп.=0,375 уат.=0,0375 кгм. Отсюда находимъ стоимость 1 клм.—0,0375 : $\frac{1}{72}$=1 : x; x=$\frac{1}{2,7}$= около 0,4

коп. Рабочій за 50 коп. производитъ 2000 . 5=10.000 кгм. Стоимость 1 кгм. = $=\frac{1}{200}=0{,}005$ коп.

53. Однородный по всей длинѣ проводникъ имѣетъ паденіе потенціала 0,5 вольтъ. Длина проводника 10 клм. Какое количество воды, имѣющей начальную температуру 0°, можно было бы испарить тѣмъ количествомъ тепла, которое выдѣляетъ проводникъ въ теченіе часа, если сила тока въ немъ равна 2 амп.?

Отв. Около 13,573 гр,

54. Какой силы токъ долженъ проходить по проводнику, разность потенціаловъ на концахъ котораго 100 вольтъ, чтобы въ каждую секунду передавать 0,2 HP (лош. силы)?

Рѣш. 1 HP=75 кгм. 0,2 HP=15 кгм.=150 уаттъ.

150 уаттъ=100 в.×x амп. x=1,5 амп.

55. Сила тока 30 амп., мощность 1 лош. сила (HP). Найти разность потенціаловъ („вольтажъ“)?

Отв. 25 вольтъ. (Точнѣе 24,5 такъ какъ 1 HP менѣе 750 уаттъ).

56. Вольтажъ равенъ 50 в., мощность 2 HP,—найти ампеpaństwo проводника.

Отв 30 (точнѣе 29,44) амп.

57. Сколько оборотовъ обмотки долженъ имѣть электромагнитъ, площадь сѣченія котораго 5 кв. см., напряженность поля 7000 силовыхъ линій и сила тока въ обмоткѣ 10 амперъ?

Рѣш. N=H. Q=35000; число оборотовъ $\frac{3500}{10}=350$.

58. Найти подъемную силу этого электромагнита.

Рѣш. $F=\frac{H.^2 Q}{8\pi}=\frac{7000^2 . 5}{8\pi}=9942000$ дн.=9,942 кгр.

59. Найти число оборотовъ обмотки электромагнита, подъемная сила котораго 50 кгр., площадь сѣченія 10 кв. см., при силѣ тока въ обмоткѣ 10 амп.

Рѣш. 50 кгр $=5.\ 10^7$ дн.

$\frac{x^2 . 10}{8\pi}=5.\ 10^7$, откуда x=35200 (приблизительно); число оборотовъ обмотки около 3520.

60. Найти силу тока, отлагающаго въ теченіе 15 минутъ изъ раствора мѣднаго купороса 2,46 гр. мѣди.

Рѣш. Въ 1 минуту отложится $\frac{2{,}46}{15}=0{,}164$ гр.; 1 амп. : 0,02=x амп. : : 0,164 ; x=8,2 амп.

61. Вольтаметръ въ 5 минутъ даетъ 400 кб. см. водорода, при температурѣ 24° и давленіи 780 мм. Найти силу тока.

Рѣш. $V_0=V.\frac{p.\ T}{p_0\ (T+t)}=400.\frac{780.\ 273}{760.\ 297}=377{,}35$ кб. см.; въ 1 мин. $\frac{377{,}35}{5}=75{,}47$ кб. см.; 1 амп. : 7=x амп : 75,47 ; x=10,78 амп.

62. Какой силы токъ выдѣляетъ изъ воды въ теченіе часа 1 литръ водорода?

Отв. Токъ силою въ 2,38 амп.

63. Сколько килогр. мѣднаго купороса разложитъ токъ силою въ 20 амп. въ теченіе 12 часовъ?

Рѣш. Токъ силою въ 1 амп. выдѣлитъ въ 1 м.—0,02 гр. мѣди.

„ „ „ 20 „ „ „ 12 час.—288 гр.

Част. вѣсъ Cu SO_4—159, слѣд. 63 : 159=288 : x, откуда x=0,727 кг. купороса.

64. Зная силу тока, какъ опредѣлить, какое соединеніе мѣди, типа закиси или окиси, имъ разложено?

65. Откуда выгоднѣе выдѣлить мѣдь электролизомъ: изъ мѣднаго купороса (50 к. килограммъ), или изъ хлорной мѣди (6 рб. килограммъ)?

Рѣш. Част. в. мѣдн. куп. 159, хлорной мѣди 98,5. Мѣди выдѣлится 63 в. ч. изъ 159 в. ч. куп. и изъ 98,5 в. ч. хлорной мѣди. Отсюда, изъ 1 кгм. $CuSO_4$—0,4 кгм., а изъ 1 кгм. $CuCl_2$—0,64.

Стоимость 1 кгм. Cu изъ Cu SO_4—$\frac{50 \text{ к.}}{0,64}$=1 р. 22 к.

" " " " " Cu Cl_2—$\frac{600 \text{ к.}}{0.4}$= около 9 руб. 40 к.

Выгоднѣе получать изъ мѣднаго купороса.

66. Сколько мѣди выдѣлитъ токъ силою въ 1 амп. въ минуту изъ раствора хлористой (CuCl) мѣди?

Рѣш. Изъ раствора мѣднаго купороса, въ которомъ мѣдь двухатомна, токъ силою въ 1 амп. выдѣляетъ въ 1 м. 0,02 гр. мѣди. Въ хлористой мѣди мѣдь одноатомна. Ея выдѣлится вдвое—0,04 гр.

67. Сколько времени понадобится току силою въ 10 амп. на осажденіе 0,2 кгр. серебра?

Отв. Почти 5 часовъ.

68. Вольтаметръ въ 10 минутъ выдѣлилъ 208,8 кб. см. гремучаго газа ($t=0°$; давл. 760 мм.). Найти силу тока.

Отв. 2 ам.

69. Найти разность потенціаловъ крайнихъ зажимовъ бунзеновской батареи изъ 20 элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно.

Отв. 22,8 вольтъ.

70. Проволока длиною въ 100 м. имѣетъ сопротивленіе, равное 2 омамъ. Найти длину отрѣзка этой проволоки, сопротивленіе котораго равнялось бы 0,1 ома.

Отв. 5 метровъ.

71. Найти сопротивленіе алюминіевой проволоки, длиною 10 м., площадь сѣченія которой 4 кв. мм.

Рѣш. $w=\frac{10. \, ^1/_{30}}{4.1,06}$=около 0,08 ома.

72. Найти длину серебрянаго стержня, площадь сѣченія котораго 1 кв. см., а сопротивленіе 0,0003 ома.

Отв. Около 2 метровъ.

73. Сопротивленіе 30 килом. телеграфной проволоки въ 4 мм. діаметромъ равно 270 омовъ. Какъ оно измѣнится, если замѣнить эту проволоку другой, діаметръ которой равенъ 3 мм.?

Рѣш Сопротивленія обратно пропорціональны квадратамъ діаметровъ: $w_1 : 270=4^2 : 3^2$; $w_1=480$ омовъ.

74. Надо ввести въ цѣпь сопротивленіе въ 10 омовъ. Какой длины надо взять для этой цѣли мѣдную проволоку, діаметръ которой 0,8 мм.?

Отв. Около 331.25 м.

75. Найти внутреннее сопротивленіе элемента, наполненнаго $15^0/_0$ растворомъ сѣрной кислоты, если разстояніе между электродами 1 см. а поверхность ихъ 10 кв. см.

Рѣш. $\frac{0,01\times15000}{10000.1,06}$ = около 0,014 ома.

76. Элементъ съ той же жидкостью имѣетъ разстояніе между электродами 4 см., а поверхность ихъ 3 кв. дцм. Найти полное сопротивленіе цѣпи, если элементъ замкнутъ желѣзной проволокой, длина которой 10 м., а сѣченіе 2 кв. мм.

Рѣш. $W = w_1 + w_2$

$w_1 = \frac{0,04\ .\ 15.000}{30000\ .\ 1,06} = \infty 0,02$ ома; $w_2 = \frac{10\ .0.1}{2\ .\ 1,06} = 0,471$ ома; $W = 0,49$ ома.

77. Найти сопротивленіе жидкости, наполняющей элементъ, внутреннее сопротивленіе котораго равно 0,00736 ома, разстояніе между электродами 1,5 см., а площадь ихъ 5 кв. дцм.

Отв. 26000.

78. Найти максимальную силу тока аккумулятора, внутреннее сопротивленіе котораго 0,2 ома, а эл.-возб. сила 2 вольта.

Отв. 10 амперъ.

79. Какую силу тока дастъ этотъ аккумуляторъ, будучи замкнутъ сопротивленіемъ въ 1,8 ома?

Рѣш. $J = \frac{2}{0,2+1,8} = 1$ амп.

80. Опредѣлить сопротивленіе лампочки накаливанія, требующей силу тока 0,4 амп., при 28 вольтахъ напряженія.

Отв. 70 омъ.

81. Батарея, будучи замкнута сопротивленіемъ въ 8 омъ, дастъ силу тока 1 амп.; будучи замкнута сопротивленіемъ въ 3 ома, дастъ токъ въ 2 ампера. Найти внутреннее сопротивленіе батареи.

Рѣш. $\frac{E}{w+8} = 1\ ;\ \frac{E}{w+3} = 2$

$(w+8) = 2\ (w+3);\ w = 2$ ома.

82. Источникъ тока замкнутъ проводникомъ, сопротивленіе котораго равно $\frac{1}{n}$ внутр. сопротивленія источника тока. Другой такой же источникъ съ тѣмъ же внутреннимъ сопротивленіемъ замкнутъ проводникомъ, сопротивленіе котораго $\frac{1}{m}$ внутренняго. Найти отношеніе силъ токовъ въ обѣихъ цѣпяхъ.

Рѣш. $J_1 = \frac{E}{w+\frac{w}{n}};\ J_2 = \frac{E}{w+\frac{w}{m}}$

$$J_1 : J_2 = \frac{E}{w+\frac{w}{n}} : \frac{E}{w+\frac{w}{m}} = \frac{E}{w(1+\frac{1}{n})} : \frac{E}{w(1+\frac{1}{m})} =$$

$$= \frac{1+\frac{1}{m}}{1+\frac{1}{n}} = \frac{n(m+1)}{m(n+1)}.$$

83. Внѣшнее сопротивленіе равно $\frac{1}{3}$ внутренняго. Какъ измѣнится сила тока, если, не мѣняя величины внѣшняго сопротивленія, удвоить внутреннее сопротивленіе батареи?

Отв. Сила тока уменьшится въ $^7/_4$.

84. Сопротивленіе мѣдной проволоки, равное при 0°C 2,6 ома, возрасло при нагрѣваніи до 2,8 Ω. До какой температуры нагрѣта проволока?

Рѣш. $Wt=W_0(1+0{,}004t^\circ)$

$$t=\frac{Wt-W_0}{0{,}004 \,.\, W_0}=\frac{2{,}8-2{,}6}{0{,}004 \,.\, 2{,}6}=\frac{0{,}2}{0{,}01}=20^\circ \text{ C}.$$

85. Металлическій проводникъ, имѣвшій при 100° C сопротивленіе 2 ома, охлажденъ до 0°. Найти его сопротивленіе при 0°.

Отв. $W_0=1{,}43$ ома.

86. При 10°C столбъ ртути имѣетъ сопротивленіе, равное 0,5 ома. При какой температурѣ сопротивленіе достигнетъ 0,6 ома?

Рѣш. $W_{10}=W_0(1+\alpha \,.\, 10);Wt=W_0(1+\alpha t)$

$W_{10}:Wt=(1+\alpha \,.\, 10):(1+\alpha t);W_{10}:Wt=0{,}5:0{,}6$

$6(1+\alpha \,.\, 10)=5(1+\alpha t);\alpha=0{,}0009;t=$около 210°.

87. Отношеніе сопротивленій одного и того же металлическаго проводника при 20° и при t° равно 2 : 3. Найти температуру t°?

Отв. 155°.

88. Цѣпь состоитъ изъ двухъ спиральныхъ проводниковъ: одного желѣзнаго (длина 20 м., пл. сѣч. 1 кв. мм.), другого мѣднаго (длина 150 м. пл. сѣч 2 кв; мм.). Найти потенціалъ въ мѣстѣ ихъ соединенія, если потенціалы концовъ цѣпи 13,5 и 2,1 вольтъ?

Рѣш. Сопротивленіе I проводника $=\frac{20 \,.\, 0{,}1}{1 \,.\, 1{,}06}=1{,}886$ ома.

„ II „ $=\frac{150 \,.\, 0{,}02}{2 \,.\, 1{,}06}=1{,}415$ „

Общее сопротивленіе 3,3 ома.

Разность потенціаловъ концовъ цѣпи 13,5—2,1=11,4 в. На каждый омъ сопротивленія паденіе потенціала 11,4 : 3,3=3,45 в.

На 1,886 паденіе—6,5

Потенціалъ въ мѣстѣ соединенія 13,5—6,5=7 в.

89. Проводники, имѣющіе сопротивленія: 20, 15 и 25 омъ, соединены послѣдовательно съ клеммами батарей, напряженія которыхъ 7 и 1 вольтъ. Найти потенціалы въ мѣстахъ соединенія средняго проводника съ обоими крайними.

Отв. 5 и 3,5 вольта.

90. Сопротивленіе всей обмотки катушки 2,55 ома. Чтобы опредѣлить ея длину, отрѣзанъ кусокъ обмотки равный 4,2 м. и найдено его сопротивленіе—0,015 ома. Чему равна длина?

Отв. 714 м.

91. Проводникъ состоитъ изъ двухъ вѣтвей, сопротивленіе каждой 0,2 ома. Найти общее сопротивленіе проводника.

Рѣш. $W=\frac{1}{\frac{1}{w_1}+\frac{1}{w_1}}=\frac{1}{\frac{2}{w_1}}=\frac{w_1}{2}=0{,}1$ ома.

92. Общее сопротивленіе семи вѣтвей проводника 0,2 ома. Предполагая, что сопротивленіе каждой изъ вѣтвей одинаково, найти чему оно равно.

Отв. 1,4 ома.

93. Проводникъ состоитъ изъ двухъ вѣтвей. Первая вѣтвь—желѣзная проволока въ 5 м. длины и въ 2 кв. мм. площади сѣченія, вторая—мѣдная проволока, сѣченіе которой 1 мм., а длина 20 м. Найти общее сопротивленіе проводника.

Рѣш. Сопротивленіе I вѣтви $=\frac{5 \cdot 0{,}1}{2 \cdot 1{,}06}=$ около 0,235 ома.

" II " $=\frac{20 \cdot 0{,}02}{1 \cdot 1{,}06}=$ " 0,377 "

Общее " $W=\frac{1}{\frac{1}{w_1}=\frac{1}{w_2}}=0{,}0145$

94. Батарею аккумуляторовъ въ 10 в. напряженія надо зарядить токомъ силою 1 амп. отъ освѣтительной сѣти, имѣющей напряженіе 110 вольтъ. Сколько лампочекъ накаливанія, амперажъ которыхъ 0,5 амперъ, а вольтажъ 50 в., надо включить въ цѣпь въ качествѣ сопротивленія?

Отв. Токъ, вступающій въ аккумуляторъ, долженъ имѣть 10 в. напряженія; слѣд., его надо пропустить предварительно черезъ 2 посл. соединенныхъ лампочки, а такъ какъ сила протекающаго тока должна быть не 0,5 а 1 амп., то надо взять по 2 лампочки, соединенныхъ параллельно, и двѣ такихъ группы соединить послѣдовательно.

95. Какой длины мѣдная проволока, сѣченіемъ 0,2 кв. мм., можетъ замѣнить лампочку накаливанія въ предыдущемъ примѣрѣ?

Рѣш. W должно быть равно 2 W_1, гдѣ W_1 находимъ изъ формулы $\frac{1}{W_1}=\frac{1}{100}+\frac{1}{100}=\frac{1}{50}$, откуда $W_1=50$; т. к. сопр. каждой лампы $0{,}5=\frac{50}{w}$; $w=100$ омовъ. $W=100=\frac{x \cdot 0{,}016}{0{,}2 \cdot 1{,}06}$; $x=1333$ метра (прибл.).

96. Десять элементовъ соединены послѣдовательно. Электродвижущая сила каждаго 1,2 вольта, внутреннее сопротивленіе 0,25 ома, сопротивленіе проводника, замыкающаго цѣпь, 7,5 ома. Найти силу тока въ цѣпи.

Рѣш. $J=\frac{10 \cdot e}{10w+W}=\frac{12}{2{,}5+7{,}5}=1{,}2$ амп.

97. Послѣдовательно соединены 24 элемента. Электродвижущая сила каждаго 1,4 вольта, внутреннее сопротивленіе 0,6 ома, сила тока въ цѣпи 1,28 амп Найти внѣшнее сопротивленіе.

Отв. 1,9 ома.

98. Батарея, состоящая изъ 5 одинаковыхъ элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно, замкнута проводникомъ, сопротивленіе котораго 0,5 ома. Найти внутреннее сопротивленіе каждаго элемента, если электродвижущая сила батареи 9 вольтъ, а сила тока 2 ампера.

Отв. 0,8 ома.

99. Внутреннее сопротивленіе каждаго изъ 8 элементовъ, введенныхъ въ цѣпь параллельно, 0,4 ома, электровозбудительная сила 1,4 вольта. Найти силу тока при внѣшнемъ сопротивленіи въ 0,09 ома.

Рѣш. $J=\frac{e}{\frac{w}{n}+W}=\frac{1{,}4}{0{,}05+0{,}09}=10$ амп.

100. Въ предыдущей задачѣ $e=1{,}2$ в.; $w=0{,}10$; $W=0{,}2875$. Найти силу тока.

Отв. 4 амп.

101. Найти наивыгоднѣйшее сочетаніе изъ 3 элементовъ, если $e=1{,}2$ в.; $w=0{,}6$ ома и $W=2$ ома?

Рѣш. Возможны три комбинаціи: 1) послѣдовательное соединеніе, при которомъ сила тока $J=\frac{3\,e}{3w+W}=$ около 0,94 ампер. 2) параллельное, когда

$J=\frac{e}{\frac{w}{3}+W}$ = около 0,55 амп. и 3) сочетаніе одного эл—та послѣдовательно съ двумя другими, соединенными параллельно, при $J=\frac{2e}{w+\frac{w}{2}+W}$ = около 0,82 амп. Наивыгоднѣйшимъ будетъ, въ данномъ случаѣ, послѣдовательное соединеніе

102. Найти наивыгоднѣйшее сочетаніе 4 элементовъ, если e=1,4 в.; w=0,4 ома и W=0,2 ома?

Отв. 1) 1+1+1+1 $J_1=3,11$ амп.
2) 1+1+2 $J_2=3,5$ „
3) 1+3 $J_3=3,83$ „
4) 2+2 $J_4=4,66$ „
5) 4 J =4,66 „

103. Найти внутреннее сопротивленіе элемента Лекланше, если батарея изъ 4 элементовъ, соединенныхъ параллельно, развиваетъ въ цѣпи, внѣшнее сопротивленіе которой 0,2 ома, силу тока въ 2 амп. Электродвижущая сила элемента Лекланше 1,4 вольта.

Отв. 2 ома.

104. Лампа накаливанія въ 8 вольтъ и 0,5 амп. питается токомъ отъ батареи бунзеновскихъ элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно. Если эл. дв. сила каждаго элемента 1,8 в., а внутр. сопротивленіе w=0,1 ома, изъ сколькихъ элементовъ состоитъ батарея?

Рѣш. Сопр. лампы $W=\frac{8}{0,5}=16$ омъ. Сила тока $J=0,5=\frac{x.\ 1,8}{x\ 0,1+16}$, гдѣ X—число эл-въ. Отсюда x=4 эл-та, но выгоднѣе взять 5 эл-въ, которые дадутъ 9 вольтъ напряженія.

105. Сопротивленіе обмотки электромагнита 8 омъ, въ нее надо пустить токъ силою въ 2 ампера. Сколько аккумуляторныхъ элементовъ (e=2 в., w=0,2 ома) надо взять для этой цѣли, соединивъ ихъ послѣдовательно, и сколько, если соединить параллельно?

Рѣш. 1) послѣдовательное соединеніе:

$$\frac{n.\ 2}{n.0,2+8}=2\ ;\ \frac{2}{0,2+\frac{8}{n}}=2\ ;\ 2n-0,4\ n=16\ ;\ n=10;$$

2) параллельное соединеніе:

$$\frac{2}{\frac{0,2}{n}+8}=2\ ;\ n=-\frac{0,2}{7},$$ т. е. такое соединеніе въ данномъ случаѣ невозможно.

106. Проводникъ, сопротивленіе котораго 400 омъ, требуетъ для накаливанія 200 вольтъ. Опредѣлить количество тепла, выдѣляемое проводникомъ въ 1″.

Рѣш. $J=\frac{e}{w}=0,5$ амп.

$T=J^2W=0,25\ .\ 400=100.$

$Q=100\ .\ 0,24$ кал.$=24$ калоріи.

107. Работа тока въ проводникѣ 20 уаттъ, сопротивленіе 2000 омъ. Найти силу тока.

Отв. 0,1 амп.

108. Лампочка накаливанія требуетъ для горѣнія 1 амп. и напряженія въ

100 вольтъ. Сколько лампочекъ придется на каждую *HP*, затрачиваемую на нихъ горѣніе?

Рѣш. $T=J^2 . w=100$ уаттъ, т. е. около 10 кгм.

HP=75 км.; слѣдовательно, отъ 7 до 8 лампочекъ

109. Потеря напряженія въ мѣдномъ проводѣ, длина котораго 2 километра, равна 5%. Найти площадь сѣченія провода, если эл.-дв. сила источника тока 2000 вольтъ, а сила тока 10 амп.

Рѣш. На нагрѣваніе провода расходуется 0,05 . 2000 . 10=1000 уаттъ.

$q=\frac{l \cdot i \cdot s}{e}$, гдѣ e потеря напряженія;

$q=\frac{2000 \cdot 10 \cdot 0{,}017}{100}=$**3,4** кв. мм.

110. Источникъ источаетъ ежесекундно 10000 кгр. воды, падающей съ высоты 15 метровъ. Сколькимъ уаттамъ (считая HP равной 750 уаттъ) равна мощность источника?

Рѣш. 10000 . 15=150000 кгрм.=2000HP=1500000 уаттъ.

111. Сколько лампочекъ накаливанія въ 2 амп. и 100 вольтъ можно питать динамомашиной, развивающей 7500 уаттъ въ 1″? (Потери не считать).

Отв. 37 лампочекъ.

112. Напряженіе зажимовъ дуговой лампы 40 вольтъ, сила тока 4 амп. При сближеніи углей до соприкосновенія сила тока увеличивается до 200 амперъ. Найти отношеніе сопротивленій лампы, горящей нормально и при сближеніи углей.

Рѣш. $w_1=\frac{e}{J_1}; w_2=\frac{e}{J_2}; \ w_1=\frac{40}{4}=10; \ w_2=\frac{40}{200}=\frac{1}{5}$

$w_1 : w_2=50.$

113. Какъ узнать, почему не дѣйствуетъ электрическій звонокъ?

114. Почему элементъ Даніэля не выгоденъ для электрическихъ звонковъ.

115. Какъ узнать направленіе тока въ проводѣ, если источникъ тока недоступенъ?

116. При какомъ условіи сила тока батареи одинакова, какъ при послѣдовательномъ, такъ и при параллельномъ соединеніи?

117. Мѣдь и уголь не спаиваются. Какъ прирастить провода къ углю при помощи электролиза?

118. Можно ли зарядить лейденскую банку отъ гальваническаго элемента?

Индуктивный токъ.

119. Найти длину электрической волны перемѣннаго тока, дающаго $3 . 10^6$ колебаній въ секунду.

Рѣш. $\lambda=\frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^6}=100$ м.

120. Вибраторъ даетъ $6 . 10^9$ колебаній въ секунду. Найти длину волны.

Отв. 5 см.

121. Серіэсъ-машина имѣетъ электровозбудительную силу 200 вольтъ, сопротивленіе обмотки электромагнита 2 ома, катушки 0,5 омъ и внѣшней цѣпи 17,5 омъ. Найти силу тока.

Рѣш. $J=\frac{e}{w_1+w_2+w_3}=\frac{200}{2+0{,}5+17{,}5}=10$ амп.

122. Найти внѣшнее сопротивленіе цѣпи, замыкающей серіэсъ-машину, если сила тока въ цѣпи 5 амп., разность потенціаловъ у борновъ машины 100 вольтъ, а сопротивленія обмотокъ электромагнита и якоря послѣдовательно равны 1 и 0,5 омамъ?

Отв. 18,5 ома.

123. Сопротивленіе обмотки динамомашины 0,7 ома, сопротивленіе провода, замыкающаго борны машины, 8 омъ. Найти напряженіе между борнами и полную эл.-дв. силу машины при силѣ тока въ 16 амп.

Рѣш. Напряженіе между борнами $e = J \cdot W = 16 \cdot 8 = 128$ в.

Эл.-дв. сила найдется изъ формулы:

$$J = \frac{E}{w+W};\ E = J\,(w+W) = 16\,(8+0{,}7) = 139{,}2 \text{ в.}$$

124. Найти отдачу динамомашины, развивающей 12 амперъ при 200 вольтахъ и питающей двигатель въ 3 HP. (считая HP=736 уаттъ).

Рѣш. $12 \cdot 200 = 2400$ уаттъ, $3\ HP = 3 \cdot 736 = 2208$ уаттъ; $\frac{2208}{2400} = 92\%$.

125. Токъ силою въ 120 амп. и 6 вольтъ трансформированъ въ токъ, имѣющій 360 вольтъ напряженія. Найти силу послѣдняго.

Рѣш. $J : J_1 = e_1 : e$; $J_1 = \frac{120 \cdot 6}{360} = 2$ амп.

126. Найти напряженіе тока, сила котораго 15 амп., если онъ трансформированъ изъ тока въ 1500 амп. и 50 вольтъ?

Отв. 5000 вольтъ.

127. Почему невыгодно передавать на большія разстоянія токи значительной силы?

128. Какой токъ выгоднѣе передавать: постоянный или перемѣнный?

129. Можно ли намагнитить сталь катушкой Румкорфа?

130. Какъ помощью катушки Румкорфа трансформировать слабый токъ высокаго напряженія въ сильный токъ низкаго вольтажа.

ТАБЛИЦЫ.

I. Магнитная проницаемость.

(Къ стр. 22-й.).

Пустота и воздухъ	1	Кобальтъ	140
Никкель	300	Желѣзо	5500

II. Земной магнитизмъ.

(Къ стр. 24-й).

	Склоненіе	*Наклоненіе*
Павловскъ	0° 40′	70° 36′
Иркутскъ	2° 1′	70° 76′
Парижъ	14° 44′	64° 52′
Одесса	4° 27′	62° 18′
Тифлисъ	2° 19′	55° 54′
Токіо	4° 37′	49° 3′

III. Таблица Жубера.

(Къ стр. 49-й).

Длина искры зависитъ отъ разности потенціаловъ кондукторовъ, отъ ихъ формы и свойствъ раздѣляющаго ихъ діэлектрика.

Для приблизительнаго опредѣленія разности потенціаловъ *шаровыхъ* кондукторовъ *радіуса 1 см.* можно пользоваться таблицей *Жубера*, указывающей эту разность въ зависимости отъ длины искры при разрядѣ черезъ воздухъ нормальной упругости.

Разстояніе между шариками въ ст.	Разность потенціал. въ вольтахъ.	Разстояніе между шариками въ ст.	Разность потенціал. въ вольтахъ.	Разстояніе между шариками въ ст.	Разность потенціал. въ вольтахъ.
0,1	4830	1,5	29340	5,0	45900
0,5	16890	2,0	31350	10,0	56100
1,0	25440	3,0	37200	15,0	61800

IV. Діэлектрическія постоянныя.

(Къ стр. 58-й).

Пустота (эфиръ)	1	Сѣра	2,4—4
Воздухъ	1,006	Фарфоръ	5,3
Параффинъ	1,9—2,3	Мраморъ	6
Сургучъ	4	Масло	2,2
Слюда	5—6	Керосинъ	2—2,2
Стекло	3—8	Спиртъ	5—27
Вулканиз. каучукъ	2—3,2	Канифоль	2,5
Керосинъ	2		

V. Азбука Морзэ.

(Къ стр. 86-й).

Русскія буквы	Международн. алфавитъ	Знаки	Русскія буквы	Международн. алфавитъ	Знаки
а	a	. —	р	r	. — .
б	b	— . . .	с	s	. . .
в	w	. — —	т	t	—
г	g	— — .	у	u	. . —
д	d	— . .	ф,ѳ	f	. . — .
е,э	e	.	х	h	. . . .
ж	v	. . . —	ц	c	— . — .
з	z	— — . .	ч	ö	— — — .
и,і	i	. .	ш	ch	— — — —
к	k	— . —	щ	q	— — . —
л	l	. — . .	ъ,ь	x	— . . —
м	m	— —	ы	y	— . — —
н	n	— .	ѣ	è	. . — . .
о	o	— — —	я	ä	. — . —
п	p	. — — .	й	j	. — — —

Цыфры	Знаки	Цыфры	Знаки
1	. — — — —	6	— . . . .
2	. . — — —	7	— — . . .
3	. . . — —	8	— — — . .
4	. . . . —	9	— — — — .
5		0	— — — — —

Знаки препинанія:

Точка		Тире	— . . . . —
Точка съ запятой	— . — . — .	Апострофъ	. — — — — .
Запятая	. — . — . —	Черта	— . . . —
Двоеточіе	— — — . . .	Скобка	— . — — . —
Вопрос. знакъ	. . — — . .	Ковычки	. — . . — .
Воскл. знакъ	— — . . — —		

Условные знаки:

Высочайшая телегр.	. — —	Повторить (не понялъ)	. . . . и т. д.
Правительств. телегр.	. . .	Понялъ	. . . — .
Служебная телегр.	. —	Ждать	. — . . .
Частная телегр.	. — — .	Приглашен. къ перед.	— . . . . - .
Вызовъ	. — . — . — . — и т. д.	Срочная телегр.	— . .
Конецъ передачи	. — . — .		

VI. Химическіе элементы.

(Къ стр. 98-й).

Знакъ.	Атомн. вѣсъ.	Эквивал. вѣсъ.	Электро-хим. эквивалентъ.
Водородъ H.	1	1	0,0001
Углеродъ C.	12	3	0,0003
Кислородъ O.	16	8	0,0008
Хлоръ Cl.	35,5	35,5	0.0036
Натрій Na	23	23	0,0023
Алюминій Al	27	9	0,0093
Желѣзо Fe	56	28	0,0029
Никкель Ni	58	29	0,003
		18,7	0,0019
Мѣдь Cu	64	64	0,0065
Мѣдь	—	32	0,0033
Цинкъ Zn	65	32,5	0,0033
Серебро Ag.	108	108	0,011

Золото Au	197	65,7	0,0068
Ртуть Hg	200	200	0,02
Ртуть Hg	—	100	0,01
Платина Pt	195	48,7	0,005

VII Эл.-дв. сила гальванич. элементовъ.

(Къ стр. 101-й).

Даніэля	1,08 в.	Грове	1,6 в.
Бунзена	1,86—1,94	Грене	1,9—2 в.
Паггендорфа	1,95—2,03 в.	Кларка	1,434 в.
Лаланда	1 в.	Вестона	1,019 в.
Лекланше	1,3—1,6 в.	Аккумуляторъ	2,1 в.

VIII. Сопротивленіе проводниковъ перваго рода.

(Къ стр. 112-й).

Матеріалъ	1 омъ сопр. имѣетъ проволока 1 кв. мм. сѣченія длиною метровъ:	1 метръ длины такой проволоки имѣетъ сопрот. въ омахъ.	Уд. сопр.	Уд. сопр., если сопр. мѣди=1.
Серебро	61,39	0,01625	0,016	0,91
Алюминій	31,21	0,032	0,032	1,79
Мѣдь	57,40	0,0178	0,017	1
Желѣзо чистое	11,27	0,0887	0,094	4,98
„ ковкое	8,30	0,12	0,52	6,74
Ртуть	1,06	0,94	1	52,77
Свинецъ	4,84	0,206	0,21	11,58
Платина	9,13	1,2	0,11	6,17
Цинкъ	16,52	0,06	0,064	3,4
Латунь красная	15,75	0,062	—	—
„ желтая	13,31	0,074	—	—
Константанъ (46% никк.) .	2	0,5	—	—
Манганинъ 84% мѣди, 12% марганца, 4% никк.) .	2,37	0,42	—	—
Никкелинъ	4,1—2,4 (смотря по составу)	0,33—0,42	—	—

IX. Сопротивленіе проводниковъ второго рода.

(Къ стр. 112-й).

(1 куб. см, при 18° С. въ 10000 легальн. ом.).

% содерж. въ растворѣ.	Повар. соль.	Цинк. купор.	Мѣдн. купор.	Ляписъ	Ѣдкое кали	Соляная кислота	Азотная кислота	Сѣрная кислота
5	14,93	52,63	53,63	38,46	5,81	2,53	3,88	4,79
10	8,60	31,25	31,25	20,83	3,18	1,59	2,17	2,55
15	6,10	23,81	23,81	14,71	2,35	1,34	1,63	1,84
20	5,10	21,28	—	11,49	2,00	1,38	1,41	1,53
25	4,67	20,83	—	9,43	1,85	1,51	1,30	1,39
30	—	22,73	—	8,06	1,85	1,94	1,27	1,35

X. Ртутные эталоны ома.

(Къ стр. 113-й).

	Длина столба въ см.	По сравн. съ един. Сименса
Единица Сименса (1860 г.)	100	1
Омъ X_1	101.96	0,9808
Омъ X_2	103,96	0,9619
Омъ *Дюмонта* (1889 г.)	104	0,9615
Омъ *Эверетта* (1888 г.)	104,83	0,9539
Британскій омъ I-й (1863 г.)	104,86	0,95365
„ „ II й	104,93	0,95302
Омъ *Кольрауша* (1874 г.)	105,91	0,9442
Омъ *Лоренца* (1885 г.)	105,93	0,9440
Легальный омъ (1884 г.)	106	0,9434
Омъ *Химштедта* (1886 г.)	106,01	0,9433
„ „ (1892 г.)	106,259	0,9411
Омъ *Ленца*	106,13	0,9422
Международный омъ (1893 г.)	106,3	0,94073
Нормальный омъ (*А. М. Грабовскій* 1912 г.) . .	106,3	при сѣченіи

1 кв. мм , массѣ ртути 14,4525 гр. и уд вѣса ея 13,59593.

XI. Источники свѣта.

(Къ стр. 135).

Источникъ.	Сила свѣта въ Гефн.—св.	Выдѣленіе тепла на 1 ч. св.
Газовый рожокъ	20	100
Горѣлка Ауэра	29	17,2
Спиртокалильная горѣлка	15	21,2
Керосинокал. 14 линій	20	48
Ацетиленовая горѣлка	40	13,4
Лампа съ угольной нитью	14	2,95
Дуговая лампа	460	0,62

XII. Электрическія волны.

(Къ стр. 188-й).

Источникъ волнъ.	*Число періодовъ въ секунду.*	*Длина.*
Постоянный токъ	0	∞
Перемѣнный токъ	5.10	6000 килом.
Телефонный токъ	5.10^2	600 „
Безпроволочный телеграфъ	5.10^5	600 метр.
Волны Герца	5.10^8	60 см.
Волны Лебедева	5.10^{10}	6 мм.
Инфракрасные лучи Рубенса . . .	5.10^{12}	60 микронъ
Желтый цвѣтъ	5.10^{14}	0,6 „
Ультрафіолетовые лучи	5.10^{15}	0,06 „
Лучи Рентгена	5.10^{17}	0,0006 „

Система абсолютныхъ единицъ.

Система абсолютныхъ единицъ, принятая въ физикѣ, сводитъ единицы всѣхъ физическихъ величинъ къ зависимости отъ трехъ основныхъ: *протяженія* (L), *массы* (M) и *времени* (T). За единицу протяженія въ физикѣ принятъ *сантиметръ* (C), массы—*граммъ* (G) и времени—секунда (S). По этимъ единицамъ абсолютная система мѣръ носитъ названіе системы *граммъ—сантиметръ—секунда* (G.C.S.).

Геометрическими единицами будутъ: *поверхности*—квадратный сантиметръ—C^2, *объема*—кубическій—C^3.

Механическими единицами будутъ: *скорости* 1 см. въ 1 сек.$=LT^{-1}$, *ускоренія*—ускореніе равнопеременнаго движенія, въ которомъ скорость ежесекундно измѣняется на 1 см.=скорости : время$=LT^{-2}$ *силы*—сила, сообщающая массѣ въ 1 гр. ускореніе 1 см. въ 1 сек.=масса×ускореніе$=MLT^{-2}$, (эта единица носитъ наименованіе *дины*), *работы*—работа 1 дины на протяженіи 1 см.=силѣ×протяженіе$=ML^2\ T^{-2}$, (эта единица носитъ наименованіе *эргъ*). *Практическая единица мощности* (работы въ 1 секунду) т. е килограмметръ=98,1 мегаэргамъ.

Тепловыя еденицы GCS—*калорія*—количество тепла эквивалентное одному эргу. *Практическая калорія* (т. е. количество тепла, необходимое для нагрѣванія 1-го килограмма воды на 1° Цельсія) эквивалентна 424 килограмметрамъ, т. е. 424. 98,1. 10^7 эрг.=42. 10^9 G:C.S. калорій.

Электростатическія единицы. *Единица количества* (въ книгѣ обозначалась буквами LE)—то количество, которое отталкивается съ силою одной дины отъ равнаго ему, находящагося въ разстояніи 1 см.$=\sqrt{\text{силы}\times(\text{разстояніе})^2} = M^{1/2}\ L^{3/2}\ T^{-1}$. Практическая единица количества—*кулонъ*$=3.10^{-9}$ G.C.S. единицъ.

Единица силы тока=количеству : время$=M^{1/2}\ L^{3/2}\ T^{-2}$. Практическая ед.—*амперъ*$=3.10^{-9}$ G.C.S.—единицъ.

Единица потенціала=такой потенціалъ, который требуетъ одинъ эргъ работы при перемѣщеніи единицы количества эл-ва=работѣ : количество$=M^{1/2}\ L^{1/2}\ T^{-1}$. Практ. ед. потенціала—вольтъ=300 G C.S.

Единица сопротивленія—сопротивленіе проводника, сила тока въ которомъ и эл. дв. сила равны единицѣ, =потенціалу : силу тока$=L^{-1}T^1$. Практ. ед. сопротивленія—*омъ*$=9.10^{11}$ G.C.S.—единицъ.

Единица емкости—емкость кондуктора, требующаго единицу кол. эл-ва для повышенія напряженія на единицу потенціала=количество : потенціалъ=L. Практическая ед.—*микрофарадъ*$=9.10^{-5}$ G.C.S.

Магнитныя единицы. *Единица количества магнитизма (напряженія полюса)* $=\sqrt{\text{силы}\times(\text{разстояніе})^2}=M^{1/2}\ L^{3/2}\ T^{-1}$.

Ед. магнитнаго потенціала=работѣ : напряженіе полюса=$M^{1/2}$ $L^{1/2}$ T^{-1}

Ед. напряженія поля=силѣ : напряженіе полюса=$M^{1/2}L^{1/2}T^{-1}$

Ед. магнитнаго потока=напряженію×площадь=$M^{1/2}$ $L^{2/3}$ T^{-1}.

Ед. магнитнаго сопротивленія=потокъ : магнитный потенціалъ=L.

Электромагнитныя единицы. *Ед. силы тока*=напряженіе поля×протяженіе=$M^{1/2}$ $L^{1/2}$ T^{-1}. Практ. ед.—*амперъ* равна 0,1 этой единицы. *Ед. количества*=сила тока×время=$M^{1/2}$ $L^{1/2}$. Практ. ед. *кулонъ*=0,1 этой единицы. *Ед. электродвижущей силы (потенціала)*=работа : количество=$M^{1/2}$ $L^{3/2}$ T^{-2}. Практ. ед.—*вольтъ*=10^8 абсолютныхъ единицъ. *Ед. сопротивленія*=эл. дв. силѣ : силу тока=LT^{-1}. Практ. ед. *омъ*=10^9 абсол. ед. *Ед. емкости*=количеству : потенціалъ=L^{-1}. T^2. Практ. ед. *фарадъ*=10^7 абс. ед., *микрофарадъ*=10^{15} абс. ед. *Ед. мощности*=токъ×потенціалъ=M. L^2. T^{-3}. Пр. ед. *уаттъ* (вольтъ-амперъ)=10^7 абсол. ед. *Ед. самоиндукціи* и взаимной индукціи=электр. дв. сила : токъ въ секунду=L. Практ. ед. индукціи—*генри*=10^9 абсол. ед.

Содержаніе.

Замѣченныя опечатки.

Стран.	Строка.	*Напечатано:*	*Должно быть:*
24	4 сн.	$\frac{e}{\mu Q}$	$\frac{1}{\mu Q}$
27		Электричество	Электростатика
40	17 сн.	равныя количества + электричества	равныя количества + и — электричества
81		рис. 106 и 107 надо перевернуть	
88	11 сн.	въ влѣвую	въ лѣвую
98	17 св.	9,067	0,067
100	16 св.	растворъ кислоты	растворъ сѣрной кислоты
106	9 св.	HN_4Cl	NH_4Cl
143	13 св.	провода	тока
144	18 св.	слово „матеріальныхъ“ надо вычеркнуть	
148	7 св.	энергія	энергія
155	14 св.	замыканіи	размыканіи
—	16 св.	размыканіи	замыканіи
168	13 сн.	*Поульсенъ*	*Паульсенъ*
—	9 сн.	зарегестрировывающіеся	зарегистрирующіеся
191	2 св.	(рис. 296 и 297)	(рис. 291, 296 и 297)
—	2 сн.	собрались	собирались
200	8 св.	стрѣлка S	стрѣлка s
—	11 св.	„ S_1	„ s_1

Изъ отзывовъ печати о первомъ изданіи
„Ученія о магнитизмѣ и электричествѣ въ общедоступномъ изложеніи“.

„Обращаемъ вниманіе на книгу **весьма полезную** для лицъ, желающихъ ознакомиться съ исторіей и современнымъ состояніемъ ученія объ электричествѣ и магнитизмѣ. Въ книгѣ приведены біографіи физиковъ, даны задачи и примѣры „(Астроном. Обозр.“ 1908 г. № 3.).

„Книга даетъ вполнѣ достаточныя знанія по электричеству... ее мы можемъ смѣло **рекомендовать**...“ („Ф ія Нов.“ 1908 г. № 6).

„Авторъ стремится дать не только теорію **въ новѣйшей разработкѣ**, но и познакомить со всѣми приложеніями электричества. **Очень хороши** схематическіе **рисунки...** книга написана хорошимъ языкомъ, изложеніе строго послѣдовательно... книгу можно **рекомендовать** какъ весьма **полезное руководство** и какъ пособіе для учениковъ **средней школы** „(Николаевск. Газ.“ 1908 г. № 747.).

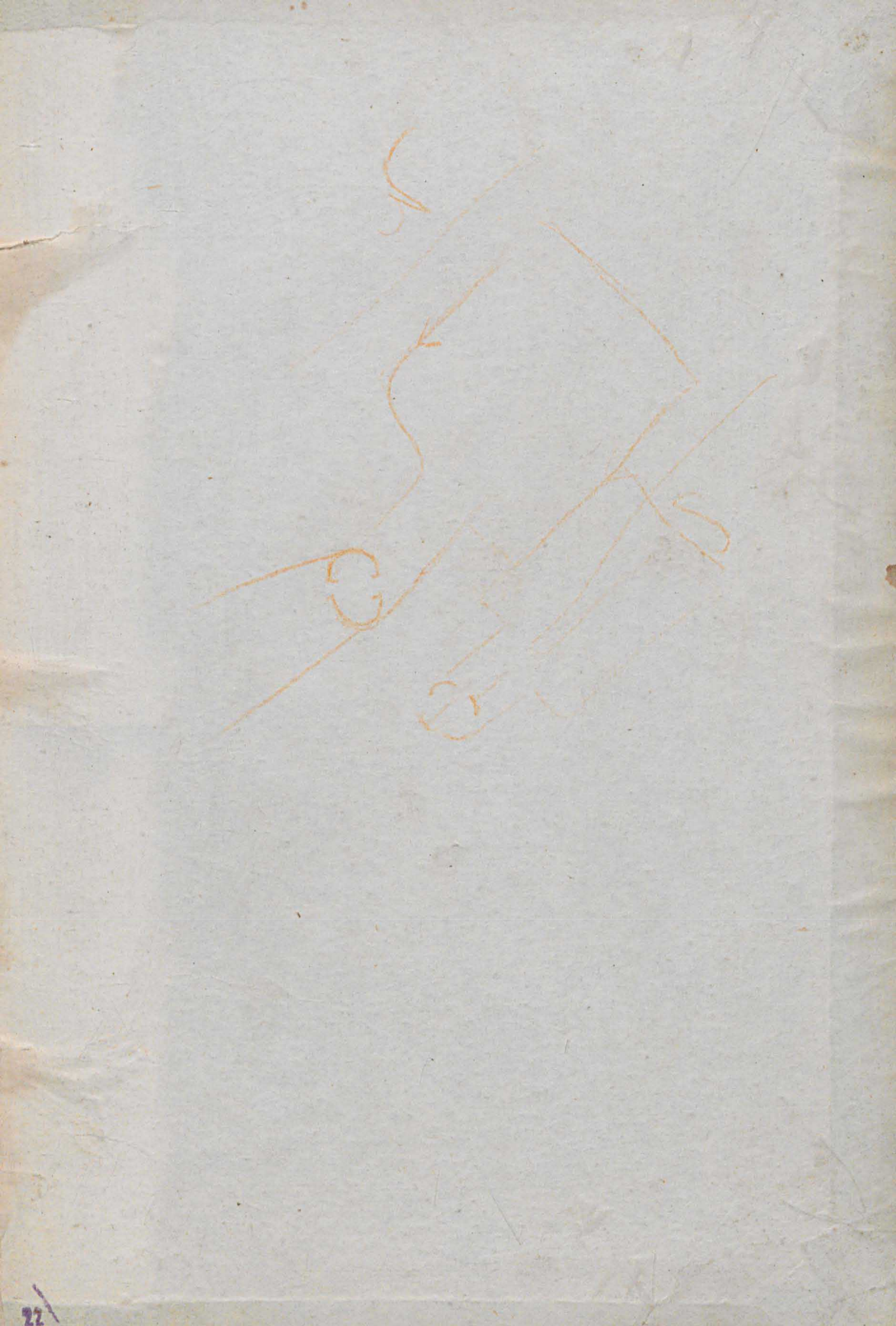
„Текстъ богато иллюстрированъ **вполнѣ удачно** выполненными рисунками. **Полнота и ясность** изложенія являются **несомнѣнными достоинствами** книги, которая дѣлается доступной для лицъ, не имѣющихъ особой подготовки. **Ее горячо рекомендуемъ**... („Фарм. Практ.“ 1908 г. № 33).

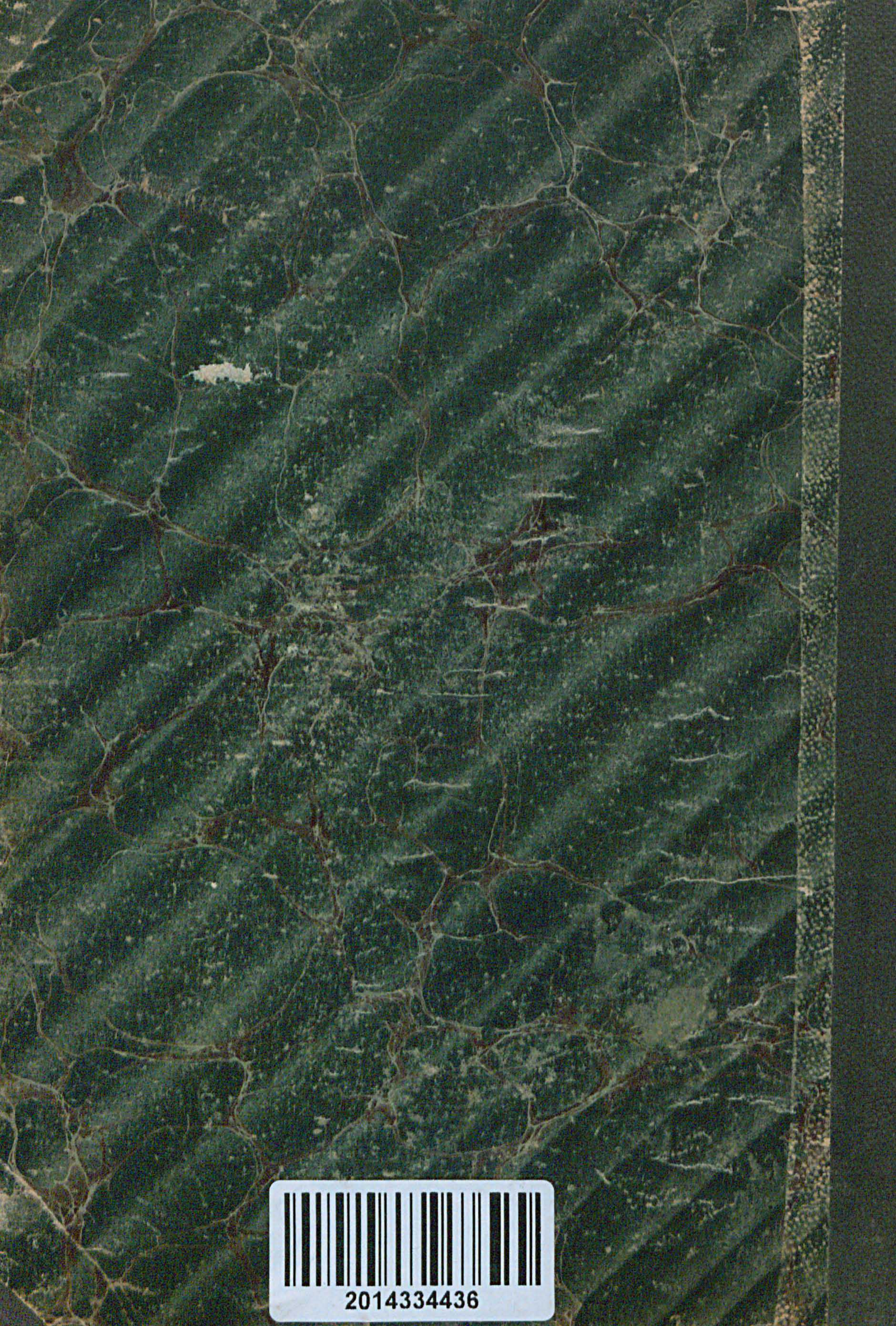
„Авторъ простымъ языкомъ изложилъ **всю сущность современнаго ученія** объ электричествѣ... О книгѣ В. В. Рюмина намъ пришлось слышать **самые лестные отзывы** отъ электротехниковъ и преподавателей“ („Голосъ“ 1908 г. № 10)

„Написана она яснымъ языкомъ и **вполнѣ доступна** для лицъ съ самой незначительной математической подготовкой... Отчетливость чертежей и ясность изложенія дѣлаютъ книгу **цѣннымъ пособіемъ** для воспитанниковъ среднихъ школъ. Въ авторѣ сказывается не только спеціалистъ трактуемаго предмета, но и **опытный педагогъ**. Замѣтивъ, что цѣна книги, по обилію оригинальныхъ чертежей, не можетъ быть признана высокой, пожелаемъ ей **широкаго распространенія**“. („Голосъ Жизни“ 1909 г. № 26).

„Такія книги, какъ разсматриваемая книга В. В. Рюмина, весьма рѣдки. Стоя вполнѣ на уровнѣ современности, она можетъ по своей общедоступности служить **превосходнымъ пособіемъ для самообразованія**. Всѣ крупнѣйшія открытія и изобрѣтенія въ области электричества, до самаго послѣдняго времени, нашли себѣ мѣсто въ книгѣ“. („Природа и люди“ 1909 г. № 19).

„Можемъ смѣло рекомендовать это руководство, пройдя которое, читатель основательно ознакомится съ основаніемъ электротехники“. („Досугъ Техника“, № 20, 1910 г.).




2014334436